AGOSTO 2024

ASOCIACIÓN DE INGENIEROS DEL URUGUAY

Ingeniería

N°100



La FING festeja 20.000 títulos entregados en su historia

FING

Renovación de la Central Hidroeléctrica de Rincón de Baygorria

Ing. Fernando Macri
Ing. Christian Brandner

Cáscaras de cerámica

Ing. José Martín Zorrilla



Asociación de Ingenieros del Uruguay

Acompañando a la Ingeniería desde 1905

REDACTOR RESPONSABLE
Mag. Ing. Miguel Fierro

DISEÑO EDITORIAL
www.disenio.net

IMPRESIÓN Y ENCUADERNACIÓN
Gráfica Mosca
Nº de depósito 358055

Contenido



AIU
1905



Asociación de Ingenieros del Uruguay

Acompañando a la Ingeniería desde 1905

¿Qué es AIU?

La AIU es una asociación civil con finalidad gremial fundada el 12 de octubre de 1905, con personería jurídica reconocida por Resolución del Poder Ejecutivo de fecha 28 de julio de 1922.

¿Qué buscamos?

Ser reconocidos como una institución referente de la ingeniería nacional y contribuir mediante su superación al desarrollo de la ingeniería del país, al progreso y bienestar social y a la dignificación personal.

¿Qué hacemos como asociación?

Fortalecemos permanentemente la institución para beneficio de sus asociados, de la profesión en general y de la sociedad. Promovemos la comunicación y el intercambio técnico y de experiencias entre asociados. Nos relacionamos con instituciones nacionales y extranjeras.



Asociate

Participá de los eventos y actividades que tenemos para ofrecerte

Asociación de Ingenieros del Uruguay

Cuareim 1492
(+598) 2901 1762 / 2900 8951
(+598) 98 869 645
aiu@vera.com.uy
www.aiu.org.uy

aingenierosu
aingenierosu
aingenierosu
@aingenierosu
Asociación de Ingenieros del Uruguay



75 años de UPADI

Autor
Mag. Ing. Miguel Fierro

El 20 de julio de 1949 en Río de Janeiro, las delegaciones de Federaciones, Sociedades y Asociaciones de Ingenieros de diversos países resolvieron constituir la Unión Panamericana de Asociaciones de Ingenieros (UPADI) y aprobar sus estatutos provisorios.

Dentro de los fines perseguidos estaba alentar, promover, extender, orientar y uniformizar la acción de los ingenieros en América.

Son miembros fundadores de UPADI Argentina, Bolivia, Brasil, Canadá, Chile, Colombia, Cuba, República Dominicana, El Salvador, Ecuador, Estados Unidos, Guatemala, México, Nicaragua, Paraguay, Perú, Uruguay y Venezuela.

Este año la Asamblea General Ordinaria N°567 se llevó a cabo en la sede del Colegio de Ingenieros del Perú en Lima, los días 16 y 17 de julio. A la misma asistieron representando a la AIU el Ing. Miguel Fierro en su carácter de miembro del Directorio de UPADI ocupando el cargo de Tesorero y el Ing. Maximilian Friedrich quien fue electo vicepresidente de la V región Brasil y Cono Sur.

Como puntos de la agenda podemos resaltar la presencia de 27 países, 31 organizaciones de ingeniería y más de 50 asistentes. Se presentaron los informes de Presidencia, Consejo Técnico, Consejo Consultivo, Finanzas, la Academia Panamericana de Ingeniería, los Premios UPADI y la convocatoria a Asamblea General Extraordinaria para la elección de Presidente Electo, Secretario, Tesorero y Vicepresidentes de las regiones Norte, Central y Caribe.

Los días 18 y 19 se realizó la Convención de los Comités Técnicos en formato híbrido con conferencias presenciales y virtuales. La apertura estuvo a cargo del Ministro de Energía y Minería del Perú y se dictaron más de 30 conferencias magistrales. En esta oportunidad el Ing. Miguel Fierro, presidente del comité técnico de Energía participó con una ponencia denominada "Transformación energética en el Uruguay". Cabe destacar también que fue aceptado que Uruguay sea sede del Comité de "Jóvenes Ingenieros" a partir de esta fecha por los próximos 4 años.





Para festejar el aniversario de la creación de UPADI se hizo un acto protocolar con entrega de placas recordatorias a todas las instituciones miembro, así como también diplomas. El Presidente Ing. Ari Herrera dio su discurso de inicio, luego le fue cedida la palabra al presidente electo Ing. German Pardo. La Decana del Colegio de Ingenieros del Perú fue quien cerró la primera parte del evento dando inicio al brindis y almuerzo de gala que fue acompañado por un espectáculo de danzas autóctonas.



La próxima Asamblea quedó fijada para el 30 de junio y 1° de julio de 2025 en la ciudad de México organizada por la UMAI. En el año 2026 se confirmó su realización en Costa Rica a cargo del CFIA y en 2027 la UNAICC será el anfitrión en Cuba.

A continuación, transcribimos la Declaración de Lima.

Lima, Perú, 17 de julio 2024

DECLARACIÓN DE LIMA

Nosotros, Ingenieros de las Américas, convocados por la Unión Panamericana de Asociaciones de Ingenieros - UPADI, en su Asamblea N°567, realizado en la Ciudad de Lima, Perú, los días 16 y 17 de julio de 2024, y teniendo en consideración los valiosos antecedentes expuestos por las organizaciones de Ingenieros del Continente Americano, manifestamos:



Unión Panamericana de Asociaciones de Ingenieros

CONSIDERANDO

1. Que la ingeniería es un motor fundamental en cada país y como tal, requiere que como sociedad en general, apoyemos su crecimiento en todas las áreas de la sociedad moderna.
2. Que es esencial para las sociedades en nuestros países comprender que la ingeniería es fundamental para el desarrollo tecnológico de los pueblos, la creación de riqueza y mejora en la calidad de vida.

3. Que es imperativo fomentar y compartir las buenas prácticas de la ingeniería en el continente, buscando combatir la corrupción y mala praxis promoviendo la ética profesional.
4. Que hay que fomentar el desarrollo de agendas comunes en la región que permitan el intercambio de conocimiento, experiencias, tecnología y búsqueda de soluciones a problemas comunes.
5. Que es necesario fortalecer la integración entre las organizaciones de ingeniería de todos los países iberoamericanos que facilite de manera práctica transmitir experiencias en temas como la colegiación profesional, movilidad y cooperación.
6. Que las regiones en desarrollo requieren un compromiso político de los gobiernos que impulse inversiones estratégicas con la mejor ingeniería posible.
7. Que es necesario promover a los ingenieros a cargos para la toma de decisiones nacionales con las mejores prácticas de la meritocracia aplicables al cargo y promover así, la solución de problemas de país considerando las mejores técnicas.
8. Que aún existen países en la región con marcos legales deficientes sobre la regulación del ejercicio profesional, que impactan directamente en la aplicación integral de la ingeniería organizada en todas sus etapas.
9. Que, al formar parte de regiones vulnerables a los fenómenos naturales, es imperativo seguir fomentando la unión de las ingenierías para la prevención y atención de los desastres, erradicación de la pobreza y marginalidad, siempre considerando y mitigando los impactos medioambientales con los mejores métodos existentes considerando el trabajo conjunto con los gobiernos locales.
10. Que los programas de educación en ingeniería a nivel preuniversitario son fundamentales para la motivación vocacional de jóvenes. A nivel universitario, se deben impulsar programas que mejoren la calidad en la formación de los futuros ingenieros.
11. Que es importante adaptar las estrategias y desarrollo de los programas formativos en ingeniería al desarrollo tecnológico y en particular la inteligencia artificial bien aplicada.
12. Que se debe prontamente generar los indicadores de infraestructura, en aquellos países con mayor deficiencia, que impiden una mejor planificación y la optimización del uso de las ingenierías en el continente.
13. Que todas las áreas de ingeniería deben de apoyar el desarrollo de proyectos con impacto social, buscando las mejores soluciones técnicas y económicas a los principales problemas de la región, contribuyendo así al desarrollo del continente.
14. Que los ingenieros tienen un papel especial, a través de su desempeño profesional, en alcanzar niveles de desarrollo en los países del Continente, y particularmente en el enfrentamiento y adaptación al cambio climático.

ACORDAMOS

RECOMENDAR A LOS GOBIERNOS Y ORGANIZACIONES DE INGENIEROS

1. Deben trabajarse agendas comunes que permitan resolver las problemáticas regionales con las mejoras prácticas de la ingeniería.
2. Generar las mejores políticas públicas en todos los países del continente apoyándose en las mejores prácticas de la ingeniería aplicables, donde prevalezcan las valoraciones técnicas antes que las económicas y políticas.
3. Todos los gobiernos y organizaciones de ingenieros deben de apoyar la integración de la investigación, educación y gremios.
4. Apoyar la organización y adecuada regulación para la práctica de la ingeniería, la práctica legal y ética de la profesión, facilitando la organización para el ejercicio profesional colegiado para lograr los mejores beneficios al país.
5. Desarrollar programas específicos para la motivación vocacional en los jóvenes en la etapa preuniversitaria poniendo especial atención en las mujeres.
6. Iniciar una revisión de los programas universitarios que facilite su adaptación a los rápidos cambios tecnológicos.
7. Procurar que las poblaciones tengan satisfechas las necesidades básicas, tales como: agua, saneamiento, conectividad, tráfico y desarrollo vial, energía, vivienda digna, alimentación.

8. Desarrollo de programas piloto que permitan encontrar las mejores soluciones de ingeniería a los problemas de movilidad, cambio climático, para lograr la industrialización de los países en la región.
9. Trabajar decididamente en mecanismos que eviten la corrupción y mala praxis en la ingeniería.

Atentamente,

Orlando M. Ayala Hernández
ASME / ASCE - USA

Marco Antonio Cabrera Huamán
Secretario Nacional del CIP

Kyra Bueno Risco
Vicepresidenta Nacional de Desarrollo Profesional y Eventos de la Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba

Hernando Monroy Benitez
Presidente Sociedad Colombiana de Ingenieros

Valdemar Saravia Mendoza
Presidente de la Asociación Salvaroreña de Ingenieros y Arquitectos (ASIA)



Mamá se parecía a Jackie Kennedy

Autora
Ing. María Gueçaimburu

Estimados colegas, con mucho gusto continuamos con la sección cultural de nuestra revista. A igual que en el número anterior traemos un cuento escrito por un ingeniero/a.
Parece extraño que dentro de nuestra profesión, tan técnica y precisa, haya escritores y más aún ganadores de concursos importantes. Antes presentamos el premiado cuento "A su memoria" de Rubén Gastelumendi, autor de la novela "Papifútbol", de la cual hemos recibido muy buenos comentarios.

En esta oportunidad traemos “Mamá se parecía a Jackie Kennedy” de la Ingeniera Civil María Gueçaimburu, cuento que es parte del libro “Raras”, Ediciones de la banda Oriental 2019, Premio Narradores de la Banda Oriental. Cabe destacar que ganó el Premio Ópera Prima del MEC 2019, nuestras felicitaciones y agradecimiento por su aporte enriquecedor a esta revista y a toda nuestra colectividad.



En este relato Gueçaimburu aborda temas como la identidad, la apariencia y las expectativas sociales, utilizando la figura icónica de Jackie Kennedy, como mujer idealizada, para explorar las discrepancias entre la realidad personal de los personajes y su apariencia o percepción en la vida familiar y social. Es una narrativa rica en detalles y emociones para retratar la complejidad de las relaciones familiares y la presión social sobre las mujeres para cumplir ciertos roles y estereotipos.

Alentamos a otros escritores o quienes conozcan un colega que escriba, que nos contacte para seguir mostrando la faceta literaria de la ingeniería uruguaya.

Mamá se parecía a Jackie Kennedy

Cuando mamá aún era soltera, los jueves iba al cine con mi abuela. Se vestían con sus mejores atuendos. Mi abuela, con sombrero, vestidos tubo por debajo de la rodilla y zapatos de taco aguja, bien altos; mamá, con polleras tableadas y amplias marcando la cintura y también zapatos altos pero no tanto como los de su madre. Se maquillaban y marchaban al Trocadero o al Ambassador, nunca al cine de barrio; para mi abuela no era una opción. Después tomaban el té en alguna confitería céntrica, y siempre estaban de vuelta para esperar a mi abuelo cuando llegaba de trabajar. Las películas preferidas eran las románticas con hombres buenmozos y chicas lindas, o también podía ser alguna del far west con John Wayne. La única condición era que tuvieran finales felices. Cuando en la película actuaba Fred Astaire, la reservaban para ir el sábado con mi abuelo. A mi abuelo le gustaba bailar. Era difícil que pudiera tener los brazos y las piernas quietos. Siempre estaba marcando el ritmo de algo. Incluso cuando me enseñaba cómo mandaba mensajes en morse, que lo había aprendido a los trece años cuando comenzó a trabajar en el telégrafo, y lo hacía golpeando los dedos en sus piernas, los dedos, las manos, las piernas, los pies, todo su cuerpo vibraba con mucha gracia al ritmo de puntos y rayas. Mamá decía que era igualito a Fred Astaire.

A ella le habría gustado parecerse a Audry Hepburn, fina y de rasgos delicados, o a Grace Kelly, con su belleza clásica. Sin embargo, cuando yo era niña, la gente la encontraba parecida a Jackie Kennedy. A mamá le gustaba que se lo dijeran. Y tenían razón, sobre todo cuando se ponía el tapado celeste con botones grandes y cinturón, todo del mismo tono, y se subía al Hudson del 47 que papá le había regalado. El Hudson no era colachata como los autos de los Kennedy, sino del tipo que acababa redondeado y parecía encorvarse hacia el final. Pero era grande, fuerte y aparentemente indestructible. Papá decía que por eso se lo había regalado. Aunque yo creo que era un auto seguro para mamá porque casi nunca arrancaba.

Aún recuerdo el día que mataron a Kennedy. No sé quién se lo contó a mamá, pero la vimos pasar corriendo directo hacia la televisión, la prendió y nos quedamos esperando las noticias. No hacía más que repetir: “Mataron a Kennedy, mataron a Kennedy”. Cuando llegaron las

imágenes fue tremendo. Ella, que ni siquiera se había sentado, tuvo que recostarse en una pared para no caerse. Yo no sabía qué me impresionaba más, si las imágenes que llegaban de Dallas con la sangre, y JFK caído, y Jackie sin saber qué hacer, si esconderse, saltar del colachata descapotable o socorrer a su marido, todo con mucha desesperación, o mirar a mamá, tan parecida a Jackie, pegada a la pared, con la mano sobre la boca abierta como si ahogara un grito y las lágrimas corriendo por su rostro. En los días siguientes, no nos perdimos nada. Vimos la repetición del atentado mil veces, a Jackie ensangrentada, los funerales, el asesinato de Oswald, y escuché a mis mayores hacer todas las especulaciones sobre lo que había pasado; era el único tema de conversación.

Eso fue lo primero, pero sucedieron otras cosas poco tiempo después. Mamá logró, con ayuda de una columna, hacer destructible el Hudson. Ella salió milagrosamente ilesa, pero todos nos asustamos mucho. Lo otro fue que mi abuelo comenzó a mostrar los primeros síntomas de lo que luego supimos que era Alzheimer.

No logro ordenar bien los hechos cronológicamente, pero también por esa época, mamá tapizó una de las paredes del comedor diario con un collage de afiches de compañías aéreas. Desayunábamos, almorzábamos, tomábamos la leche y cenábamos con la vista de la torre Eiffel, el Coliseo romano, una plaza de toros, playas increíbles y gondoleros sonrientes.

Pero lo más extraño, que atribuyo a lo que sucedió en ese período, es que mamá empezó a perder las cosas. Aunque lo más correcto sería decir que casi siempre había algo que le faltaba. No perdía todo al mismo tiempo. Pero cuando no era la billetera, eran los lentes o si no aquella blusa de tono rosa pastel que papá le había regalado, cualquier lapicera, no importaba el valor del objeto, ella necesitaba que todo lo que se perdía apareciera. Cada vez pasaba más tiempo buscando cosas y hacía que todos buscáramos con ella. Incluso si había una visita ocasional en casa, también le pedía que la ayudara a buscar el objeto perdido. O le preguntaba al desprevenido cobrador de la UTE, que nunca había puesto un pie adentro de la casa, si no había visto la billetera, por ejemplo. Yo comenzaba a fastidiarme cuando la escuchaba decir: "Pero no puede ser que haya desaparecido, si recién la vi arriba de la mesa". Porque ya sabía que a continuación venía: "¿Tú no la viste?". Y ahí comenzaba el martirio. Nadie vivía en paz hasta encontrarla. Se paraba de cocinar, de limpiar, de jugar, de hacer los deberes, de comer. Entrábamos en un estado diferente donde el tiempo se detenía y el espacio se transformaba en un infinito de lugares posibles. No importaba cuál era el sitio más probable donde pudiera estar lo que le faltaba. Los lentes se buscaban adentro de la heladera, la billetera en el placard del baño, la blusa en el aparador de las copas, y ahí mismo, mamá se daba cuenta de que había once copas en vez de doce, y comenzaba con los interrogatorios. ¿Alguien la había roto? ¿Deberíamos buscar una copa entera o los pedazos de una copa? Una búsqueda engendraba otra, o una se superponía con otra. A veces levantábamos los almohadones de los sillones, nos agachábamos para mirar debajo de las camas, o revisábamos percha por percha de todos los placares de la casa como autómatas, sin recordar lo que estábamos buscando. Siempre encontrábamos algo que ya habíamos dado por perdido; llegábamos incluso, a encontrar lo que aún no nos habíamos dado cuenta de que no sabíamos dónde estaba. Todo era posible para mamá, había desarrollado una manera original de entender la realidad.

Lo único capaz de detener una búsqueda era que viera que en la tele estaban pasando alguna película romántica, si era una de las viejas que ya había visto, mejor, aunque también servía si actuaban Doris Day y Rock Hudson o era el show de Lucy. A veces también funcionaba que fuera al comedor y justo le hiciéramos un comentario acertado sobre, por ejemplo, los canales de Amsterdam, mientras le señalábamos el afiche de KLM, o la estatua de la Libertad en el de Pan Am. Se entusiasmaba imaginando cómo serían o cuándo iría. Después se quedaba callada, mirando la pared de una manera indescifrable para nosotros. Si teníamos suerte, se olvidaba de lo que estábamos buscando.

Un poco después comenzó a usar unos lentes de sol grandes, de armazón cuadrada y vidrios rosados; cada vez se parecía más a Jackie, aunque ya no le gustaba que se lo recordaran, sobre todo cuando se comentaba que andaba con Onassis por la plata. No le parecía que ese fuera un final feliz para las historias de amor de Jackie.

De a poco fue conociendo todos los lugares de los afiches, aunque dice que no resultaron ser como los imaginaba. Cuando conoció el último, arrancó el collage de la pared y la pintó de blanco.

Mamá siguió destrozando autos con una suerte increíble hasta que decidió no manejar más porque algún día se le iba a terminar la buena racha. Fue un alivio para nosotros, pero duró poco. Al tiempo comenzó a tropezar con cosas y a caerse por las escaleras. De estos accidentes ya no salió ilesa, pero para las caídas increíbles que tuvo, sigue siendo un milagro que continúe viva.

Cuando tuve mi propia casa me propuse que no buscaría nada. En todos los cajones hay lapiceras, cintas adhesivas, alicates y tijeras, no cambio nunca de cartera para que no se pierda nada en el traspaso, a pesar de tener el placard atiborrado de ropa, siempre uso la misma: la que está más a mano. Pero por más firmes que sean mis propósitos, cuando mamá me llama para que busque en mi casa algo que se perdió en la de ella, le hago caso; nunca se sabe.



Jacqueline Kennedy. Foto por Florida Memory · Unsplash





La FING festeja 20.000 títulos entregados en su historia

En 2024 la Universidad de la República (Udelar) cumple 175 años de existencia, siendo el pilar fundamental de la educación superior de nuestro país. En este mismo año, la Facultad de Ingeniería (Fing) celebra la emisión de 20.000 títulos de grado y pregrado.

Repasando la rica historia de nuestra casa de estudio, encontramos que la Facultad de Ingeniería entrega títulos desde el año 1892 y fue la única institución del país durante casi 100 años en formar profesionales en ingeniería y ciencias afines. Entre los hitos se destaca que en el año 1975 se iban otorgando 2.500 títulos; en 1990 se superaron los 6.500 y en 2024 se alcanzaron los 20.000 títulos entregados. Entre las titulaciones se encuentran: ingenierías, agrimensura, licenciaturas, perito y analista. Esta cantidad de títulos refleja no solo la magnitud del impacto de la Facultad en la sociedad, sino también el compromiso con la formación académica de calidad.

¿Cómo se llega a los 20 mil?

En 2014 fue presentado en el libro de la historiadora María Laura Martínez "75 primeros años en la formación de los ingenieros nacionales. Historia de la Facultad de Ingeniería (1885-1960)" que resume de gran manera los comienzos de esta casa de estudios. En el repaso histórico se recorre la creación de la Facultad de Matemática y Ramas Anexas en 1885, el comienzo de cursos en 1888 y la primera colación de ingenieros nacionales en 1892; también hace un relevamiento pormenorizado de los títulos entregados por la Facultad entre los años estudiados. Así sabemos que desde 1892

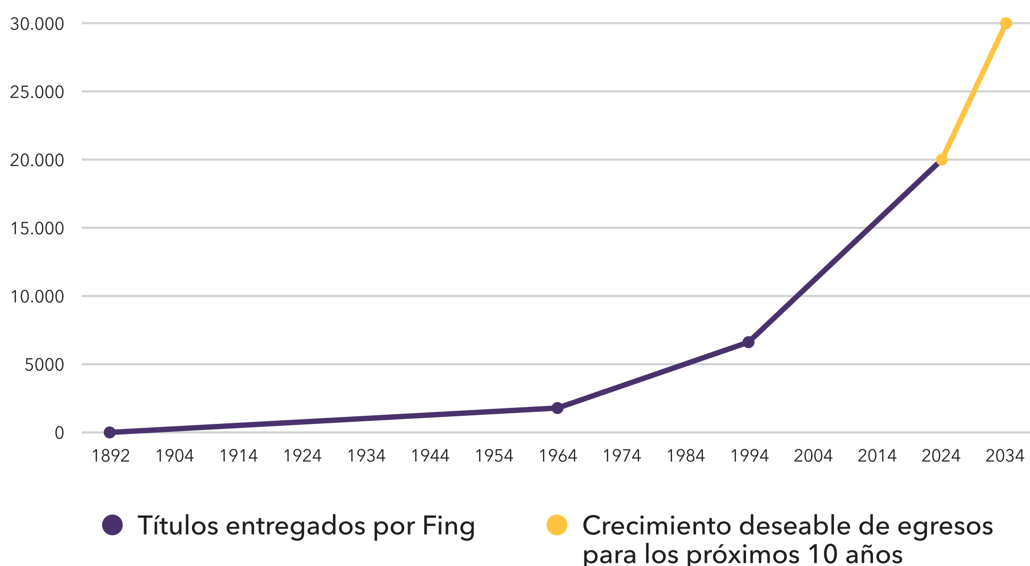
hasta 1960, la Facultad de Ingeniería entregó 1546 titulaciones, la gran mayoría de ellas como Ingeniero de Puentes y Caminos, Agrimensor e Ingeniero Industrial.

Entre 1961 y 1975, los registros fueron relevados por la Bedelía de Fing y, a partir de 1976, se cuenta con la documentación digital de todos los títulos entregados.

En base a este estudio, en el correr de 2024, se entregó el título de grado y pregrado número 20.000 en la historia de Fing.

Realidad de las carreras

Hoy la Facultad otorga títulos para doce ingenierías, cuatro licenciaturas y siete carreras de tecnólogo (www.fing.edu.uy/es/ensenanza/carreras-de-grado). Con una matrícula en aumento en los últimos años, donde se pasa del orden de 1.000 ingresos en el año 2000 a un número estimado de 2500 estudiantes nuevos en 2024. Por otro lado, los títulos de grado y pregrado entregados en el último año fueron cercanos a los 500.



Fuente: Fing - Udelar



Más ingenieros para más desarrollo del Uruguay

Consultado, el presidente de la Asociación de Ingenieros del Uruguay, Martín Dulcini, comentó que a nivel mundial, los últimos informes sobre la ingeniería elaborados por la Unesco destacan su relevancia en la mejora de las sociedades y brinda una imagen sobre cómo las innovaciones de la ingeniería están dándole forma a nuestro mundo, especialmente las tecnologías emergentes. En sus conclusiones establece: “La propia ingeniería debe transformarse para ser más innovadora, inclusiva, coo-

perativa y responsable. Es esencial que haya más jóvenes, especialmente mujeres, que consideren la ingeniería como una carrera".

"Si bien la Ingeniería en Uruguay ha logrado cumplir Objetivos de Desarrollo Sostenible (Agenda 2030) por encima de la media mundial, aumentar la cantidad de ingenieros es un desafío nacional. Nuestra Fing ha trabajado en ese sentido, aumentando la cantidad de ingenieros, logrando pasar de un promedio de 65 titulos por año en sus primeros 100 años de vida, a 416 títulos por año en los últimos 30, resultados que nos permiten reconocer y felicitar a Fing por estos logros, alentándola a continuar por ese camino donde nuestros ingenieros puedan enfrentar los nuevos retos siendo impulsores del cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible", cerró Dulcini.

Para el decano de Fing, Pablo Ezzatti este número nos debe enorgullecer como universitarios e impulsar a seguir trabajando. "Tenemos ante nosotros muchos desafíos científicos y tecnológicos. Es fundamental que sigamos formando profesionales con los mayores estándares de calidad. Es necesario sensibilizar que estamos ante un riesgo severo que la falta de personal altamente formado sea una limitante importante para el desarrollo del país".

También aseguró que Fing tiene una menor presencia de mujeres que el resto de las carreras de Udelar y que se está trabajando para mitigar esta situación. Por ejemplo, en la carrera Ingeniería en Computación el 80% de las inscripciones son de varones. "En la medida que mejoremos en la matriculación de mujeres en estas formaciones podríamos aportar en sectores productivos con altas demandas de personal calificado".

"Para acompañar el ritmo de crecimiento de sectores tecnológicos necesitamos más ingenieras e ingenieros. Nos gustaría estar festejando el título 25.000 en 7 años y el título 30.000 en 10 años. Para eso necesitamos avanzar la coordinación en el sistema de educación y que el país fomente las formaciones científico-tecnológicas", finalizó Ezzatti.



Reflexiones sobre los procesos creativos

Extraído del libro “Ser creativo” disponible en www.edgardoverzi.com

Autor
Ing. Edgardo Verzi

Antecedentes

Cuando el mono, ancestro del Homo Sapiens, descubrió que su energía natural podía magnificarse con la ayuda de un hueso, mejorando la potencia del impacto, dio uno de los primeros pasos creativos de nuestra futura especie.

El tallado de la piedra, la construcción de refugios para protegerse, el fuego, la domesticación de los animales, entre otros, pautaron la continuidad de dicha condición.

En cada época del proceso evolutivo hubo necesidades propias del momento que debieron ser solucionadas recurriendo a la capacidad creativa.

Considerando las múltiples y complejas situaciones que el ser humano y las sociedades necesitan abordar actualmente, me parece interesante reflexionar sobre aquellos aspectos que permitirían favorecer y estimular el mejoramiento de la creatividad.

Introducción

La especie humana se caracteriza, según los antropólogos, por el bipedismo y el lenguaje y el uso extensivo de instrumentos, mediando su metabolismo con la llamada “naturaleza externa”.

Pero también el humano tuvo que ser creativo para solucionar las necesidades básicas de sobrevivencia y desarrollo en cada época y en cada lugar en que habitó.

Analizar el comportamiento y a través de él encontrar la actitud capaz de mantener una convivencia en paz y en armónico desarrollo sería de enorme importancia para la supervivencia de la especie humana y el diseño de su entorno.

Veamos cómo, relacionando diferentes visiones actuales sobre la actitud humana, es posible elaborar un marco apropiado al acontecer creativo.

Las visiones

* La **filosofía** señala: “el pensamiento moderno es un pensamiento operativo en el cual el problema es entender la capacidad creadora del devenir”.
* Desde la **sociología** se reflexiona: “asistimos a la fase inaugural de un nuevo régimen de significación que reconfigura la cultura desde sus cimientos, esto es, desde sus coordenadas espacio-temporales, desplazando de este modo el universo mecánico newtoniano por un espacio de flujos”.
* La **antropología** indica que “el pensamiento relacional consiste en sostener que el mundo no está hecho de entidades estructuradas sino de procesos que se están desplegando”.
* Según la **ciencia**, ese pensamiento relacional coincide con la necesidad de “romper con la matriz mental” como alternativa necesaria para liberarse de las entidades estructuradas y entender los procesos como forma de interpretar el mundo.

Propuesta

Mi propuesta se apoyará en desestructurar la matriz mental y desarrollar el pensamiento relacional, reconociendo la importancia de la capacidad creadora del devenir.

Por lo tanto, considero apropiado dejar de pensar en términos de conocimientos compartimentados y tratar de pensar en términos de procesos que nuclean ideas.

Es costumbre utilizar la expresión "creativo" para calificar una idea, un proyecto, un objeto creado, a una persona actuando o a alguien que propone la solución de un problema.

¿Qué se intenta expresar con dicha calificación ante tan variadas situaciones?

Se intenta calificar un proceso, una conducta compleja del ser humano.

Veamos cómo esa conducta está íntimamente ligada a ciertas circunstancias que la favorecen y a determinadas actitudes que la estimulan.

Mi propuesta consiste en identificar dichas condiciones.

Los ejemplos que citaré son tomados en general de experiencias vinculadas a la creación artística; sin embargo, tanto las circunstancias como las actitudes pueden ser conceptualmente asimiladas a cualquier actividad.

Circunstancias

- el azar
- la ambigüedad
- los umbrales
- los entornos
- el equipo humano

Actitudes

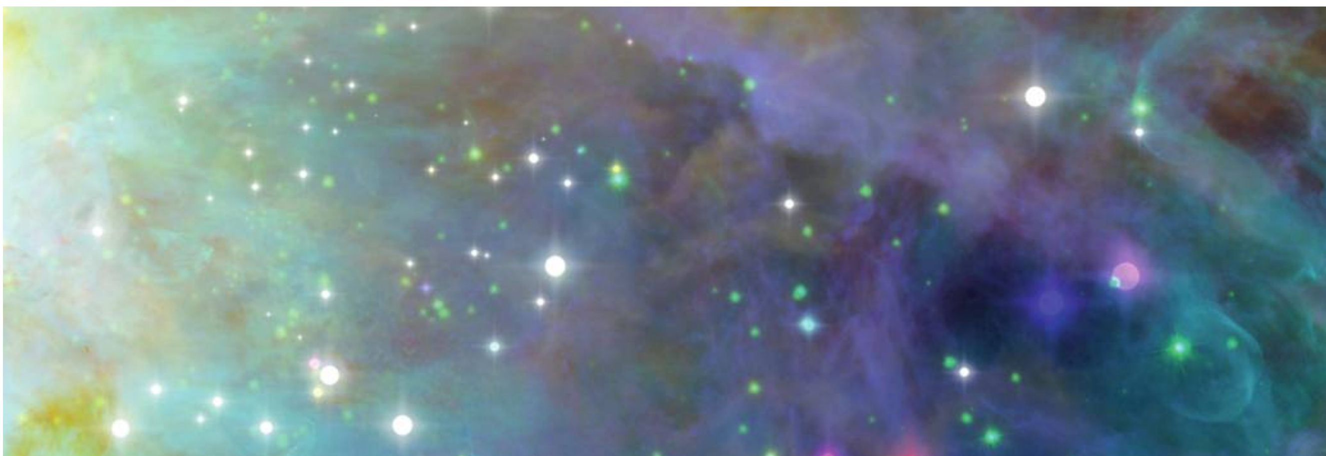
- desestructurar la matriz mental
- reconocer la escala
- advertir las singularidades
- descubrir las sintonías
- interpretar las señales de los sucesos
- vincular saberes
- experimentar alternativas
- participar en el devenir humano
- sugerir nexos solidarios
- enriquecer la armonía creativa con gestos sensibles
- aportar líneas de color propio
- facilitar el togethering formativo
- sensibilizar al prójimo con certezas
- practicar la intensidad
- equilibrar las decisiones
- simplificar

Conclusión

He descrito determinadas circunstancias y actitudes que, a mi entender, favorecen el proceso creativo mediante el acercamiento a una metodología asociativa y convergente.

Asociativa porque compartir experiencias es compartir emociones, y convergente porque permite abordar la complejidad en su conjunto. Las emociones sellan y solidifican los encuentros humanos, y la complejidad se diluye al compartir el abordaje.

La permanente transformación de la civilización y sus entornos, ese inevitable reto en tiempo presente, necesita irradiar y desplegar aportes innovadores en la vida cotidiana, que al generar un sedimento progresivo consoliden apropiadamente las conductas colectivas.





Cáscaras de cerámica

Autor
Ing. José Martín Zorrilla

Ingeniería de cáscaras

Prólogo

"A mí, desde el punto de vista estructural, estas bóvedas me parecen un prodigio. Pero, además, aportan una estética que embellecen estas obras que, de otra manera, serían frías. Junto con el chivito, un gran aporte de Uruguay para el mundo".

Don Fernando Nicolás Dueñas. Antiguo Director Forestal ENCE. Julio 2024

Esta reflexión de don Fernando, un ingeniero amigo de Uruguay que luchó como pocos por el desarrollo de la forestación en Uruguay, para que fuera sostenible social y ambientalmente, y quién me encargó el proyecto de la Terminal Logística Mbopicuá para realizar el primer puerto privado del Uruguay, me desafía a compartir secretos con mis colegas y con los amantes de las estructuras.

Antecedentes

Los dos antecedentes principales de las cáscaras cerámicas autoportantes son catalanes y alemanes. Los albañiles catalanes perfeccionaron bóvedas de medio punto de directriz circular y cúpulas de revolución esféricas, que pudieron afinar hasta parecer magia. Como las escaleras caracol voladas de los muros, donde el artesano iba pisando cada escalón a los pocos minutos para trepar hasta el siguiente a pura magia. Así hicieron catedrales, como la de San José.

También los ingenieros alemanes se pusieron a pensar, y a las baterías de bóvedas podían tratarlas como una estructura nervada, y en flexión analizar las compresiones y tracciones por flexión, para analizar y/o reforzar las partes traccionadas de las secciones transversales. La ingeniería alemana era más tosca matemáticamente: para definir las condiciones de borde indeformable, colocaron un tímpano en cada uno de los apoyos, y reforzaron la unión entre tímpano y cáscara para que no se fisure. La única justificación posible, es que funcionó y hasta ahora se menciona como método de diseño de baterías de bóvedas.



Bóvedas catalanas

Las cáscaras catalanas con elementos de cerámica, unidos entre sí por morteros de cemento con armaduras, y cubiertos por un alisado de arena y portland con malla de acero, todo apoyado en un encofrado hasta tener la resistencia a verificar, fueron el chispazo genial de un joven ingeniero que llegó un día desde Artigas en el Ferrocarril Central a estudiar a Montevideo. Gran físico, aplicó las ecuaciones cardinales a los problemas, desarrolló equipos y métodos, y una gran idea se transformó en un casi imposible, una cubierta sin soportes volando en el espacio, con ojos atentos para afinarla y hacerla elegante, vistosa, y construible en un país pequeño y dependiente.

Materiales

El mortero de cemento es una mezcla de áridos finos, arena de cuarzo entre calibres #4 y #12, cemento portland C40, agua, aire y algunos aditivos modificadores de la viscosidad y del tiempo de fraguado, como el humo de sílice, incorporadores de burbujas de aire y otros.

Las piezas cerámicas están fabricadas con una mezcla de arcillas dosificadas y mezcladas con fibras animales o vegetales, secadas al sol o en un horno, y cocidas a alta temperatura hasta obtener por cocción una uniformidad de color, resistencia, sin fisuras, que son las piezas de prensa. En la extrusora una alta presión elimina las burbujas de aire y compacta la mezcla.

Y también con esas mezclas de arcillas y fibras, en forma artesanal las hacen ladrilleros en hornos de ladrillo quemados a leña, donde la señora y los hijos del ladrillero van conformando en un molde de acero o madera cada pieza. Luego las secan al aire, bajo techo y cuando están maduras las van apilando en un horno de ladrillo sobre la leña o el carbón de leña que servirá para cocerlas en un par de semanas.

La prueba de calidad en el ladrillo de prensa es la uniformidad del color naranja de la arcilla cocida y la resistencia a compresión. En el ladrillo de campo es el color vivo y sin ojos negros y el sonido de campana cuando se golpea un ladrillo contra el otro.

La cáscara cerámica es fabulosa por tres aspectos, dos técnicos y uno artístico.

Primero, es un absorbente natural de la humedad. El contacto con la superficie de la cerámica restará agua al mortero de cemento como si fuera un hormigón al vacío, y al mismo tiempo para las primeras horas del fraguado de las sales del cemento, mantiene una humedad constante que ayuda a desarrollar las cabelleras de folículos al cemento, mejorando el curado.

Segundo, como es un elemento de módulo de rigidez de menos de un tercio del módulo del hormigón, podrá contraerse y dilatarse más para adaptarse a las condiciones locales y a eventuales errores geométricos sin fisurar.



Bóvedas gausas de rotación extrema, Montevideo Shopping Center

Tercero, queda a la vista la superficie inferior de piezas cerámicas y el ojo humano reconoce en esas superficies gausas curvas de doble curvatura las manos humanas que las colocaron una a una. No son la extrusión de una máquina, es una pequeña escultura increíble en cada bóveda. En algún caso, como la curvatura forzada de pequeñas luces libres que requieren mucha iluminación, el ordenamiento reticular se fuerza y parecen escamas de grandes saurios pero no pierden la belleza de las catenarias y cada pieza conserva su color cerámico y su textura. En cada detalle de simple elegancia, el conocedor reconoce en la escuela uruguaya la influencia de Serralta, el uruguayo de le Corbusier que desarrolló el Modulor y su maestro.

Los otros materiales de la cáscara, el refuerzo para tomar las tracciones de retracción, temperatura, tracciones por momentos y cortes permanentes y transitorios, serán varillas de acero, mallas electrosoldadas, cables de acero de pretensado, fibras de acero, fibras de vidrio y fibras de carbono. Todos estos son de alta tecnología y junto con una buena adherencia a los morteros hacen de estas cáscaras compuestas unas estructuras que pueden seguir como trazos en el espacio la imaginación del creador de una elegante forma de sólida superficie.

La fabricación de la superficie de cáscara cerámica.

Como los antiguos puentes de arco de las legiones romanas, las cáscaras cerámicas requieren cimbras donde apoyarlas, y como en los romanos, esas cimbras pueden tener más ingeniería que las mismas estructuras cáscaras que volarán después en el espacio.



Bóvedas gausas de gran luz, depósito ANP

Doble curvatura

Para las bóvedas de doble curvatura con récord de 50 metros de luz libre, la cimbra de 6x50 metros avanzaba sobre tres rieles de acero. Cada una de las 6 patas de acero apoyaba en una rueda de doble pestaña que nunca se separaba del riel y un gato eléctrico mecánico en el eje de

cada pata, subía la cimbra a posición para empezar el día y bajaba sobre el riel al desmoldarla cuando la resistencia del mortero de alisado superior llegaba a la mínima prevista.

En cada movimiento, sobre todo en el descimbrado, el ingeniero está bajo la cimbra con los carpinteros que hacen la maniobra. Lo mismo que hacían los antiguos romanos en los arcos y los puentes para corregir u observar cualquier detalle, apoyado en los capataces que son profesionales en sentir como entra en tensión la cáscara cuando vuela sola en el aire.

Las piezas cerámicas se colocan en la cimbra desde los arranques, en filas ordenadas donde perfiles de PVC marcan las juntas entre ladrillos. Estas juntas son lisas así la cáscara no se pega al forro de la cimbra. La armadura en las juntas antes de colocar el mortero de junta y en ella, se atan alambres de hierro que quedarán para arriba para atar después la malla electrosoldada del alisado.

Dos cuadrillas avanzan, una de cada lado. Como una carrera, cuando llegan al centro pueden colocar la malla superior y comenzar a extender el alisado de arena y portland desde cada arranque.

Desde el arranque, en el apoyo en la infraestructura de viga de borde y pilares de hormigón, pasando por los riñones a los cuartos de la luz y hasta la clave en alto en el medio, con la misma nomenclatura de los romanos para sus arcos de piedra o de ladrillos.

Cuando la resistencia de los cubos de mortero llega a la mínima exigida se tensan los tensores de pretensado en vaina de polietileno que llevan los empujes horizontales de la nueva bóveda. En las cáscaras pequeñas solo con esto la cáscara entra en compresión y se siente cuando comienza a despegarse de la cimbra. En bóvedas mayores, como el récord de 45 metros, queda en el punto que no asciende y se libera a la estructura bajando la cimbra muy lentamente, unos centímetros por vez, hasta que queda suelta en el espacio. Allí se detiene unas horas libre para verificar la estabilidad y que no ha iniciado un pandeo.

Es crítico pues aunque se inspecciona por encima y por debajo por los capataces y los profesionales, si pandeara después podría ser un desastre. Ese golpe por pandeo puede arrastrar la cimbra si no está dimensionada para soportarlo, y hasta la misma infraestructura si no se ha sobredimensionado para efectos dinámicos.

Una vez liberada se corre la cimbra a la posición siguiente y se repite el proceso. La gente toma ritmo al entrenarse en los mismos movimientos y no es raro tener dos y hasta tres por semana.

Un equipo costoso, cimbra y grúas, técnicos y artesanos dedicados que como se hace en poco tiempo sí son competitivos.

Diseño de las bóvedas de doble curvatura

Cada bóveda es un arco de geometría catenaria antifunicular y biarticulado.

Cada sección es diferente y en la modernidad pueden utilizarse más de una aproximación.

Uno es dividir en elementos de sección conocida y en elementos finitos construir una estructura gausa. Con SAP 2000 u otro programa, verificar la estabilidad y las solicitaciones.

Otro es componer o ligar las secciones transversales a las directrices y verificar el pandeo como un arco comprimido de sección variable. Analizando las inercias por gráficas de cada sección una media geométrica es una forma de hacerlo, siempre con un factor de seguridad generoso que el autor debe tomar según su experiencia. Como en la norma ACI americana.





Cúpula cónica Ayuí

Cáscaras cónicas

Las cáscaras cónicas de cerámica armada son superficies de revolución que como tales se dimensionan con la teoría general de las cáscaras de revolución. En este caso de una losa horizontal volada de borde, la perturbación de borde de los momentos flectores en la losa cónica trae también una fuerza horizontal importante que autocomprime la losa de borde, haciendo de esta conjunción de cáscaras cónica y anillo horizontal un ejemplo de estructura inteligente que usa el peso de la losa de borde para pretensar todo sin necesidad de agregar cables de pretensado.

Cuando superficies de revolución de diferentes generatrices se unen, su unión es una línea de extrema rigidez que el proyectista puede usar muy bien. Sobre todo para acotar deformabilidad que evita la inestabilidad elástica o pandeo, el talón de Aquiles de las cáscaras delgadas. Así lo hace la NASA en el diseño de sus cohetes espaciales que son sucesión de cilindro, tronco cono, cilindro menor, otro tronco cono, cono extremo.

En estas cónicas así como las conjunciones de cáscaras cónicas y cilíndricas que son los silos, el manual de diseño de la NASA para cáscaras delgadas ha sido muy útil. Ahora se pueden emplear los programas de diseño de cáscaras laminares como el SAP2000, que permiten ir tanteando geometrías para afinar a la mejor solución o más elegante.

Cáscaras cilíndricas con techo cónico para silos de graneles

A diferencia de las anteriores, las cáscaras cilíndricas de directriz circulares que forman las paredes de los silos circulares no necesitan una cimbra para su fabricación. Las líneas de plomos verticales pueden ser replanteadas por hilos como un muro de cerámica común, y una vez levantado el muro desde andamios, donde los materiales llegan por grúas o guinches, antes de subir el próximo nivel de andamios de dos metros se coloca la armadura de tracción y se revoca con alisado de arena y portland o gunitado.



Silos cerámicos para semillas

En silos de gran diámetro, incluso tanques de agua donde las tracciones son importantes, la armadura de tracción se sustituye por cables de pretensado. La estructura con pretensado inicial tienen la ventaja de una importante compresión inicial, con deformación importante de la cáscara que hará difícil la fisuración en caso de sobrepresiones excesivas.

Como en el caso anterior la rigidez de la unión de la cáscara cilíndrica y la cáscara cónica del techo es muy grande. Eso funciona como un tímpano de la cáscara cilíndrica, la hace extremadamente estable para esfuerzos laterales como el viento, y explica cómo los silos de Cadol en Dolores soportaron vientos de 300 km/hora del tornado en 2016.

La cimbra cónica del techo se apoya en la misma pared levantada antes y se retrae como un paraguas una vez fraguada la cúpula cónica de cubierta.

Otra cáscara de revolución cilíndrica vertical es la piel de hormigón proyectado que, cubriendo los muros antiguos de bloques de arenisca horneados y las armaduras de refuerzo, unió en una sola cáscara los muros verticales de la Plaza de Toros de Colonia, dándoles un monolitismo que soporta los vientos como una sola cáscara desde hace treinta años, salvándose de un inminente derrumbe entonces.



Plaza de Toros del Real de San Carlos

Bóvedas autoportantes cilíndricas

Las bóvedas autoportantes cerámicas vienen de la tradición alemana, la catalana y la española de Félix Candela de cáscaras de hormigón. Cuando se desarrollan en Uruguay en cerámica armada, el ingeniero Dieste es escuela, y otros como el Ing. Romero y el Ing. Sasson las hemos proyectado.

Funcionan para las tensiones de flexión y cortante como una viga de sección de muy pequeño espesor, apoyadas en pilares indeformables. Para los casos de no tener tímpano éstas tensiones provocan deformaciones de segundo orden y flectores transversales correspondientes. En los apoyos hay perturbaciones de borde que influyen en las deformaciones.

En caso de bóvedas de directriz circular, parabólica o catenaria, las tensiones τ debidas a cortante en cada sección transversal provocan en los tramos centrales el ascenso de la clave y la deformación hacia adentro de los riñones laterales, y en los apoyos, un descenso de la clave y deformación hacia afuera de los riñones.

Para analizar en una modelación estas reacciones de la cáscara a las perturbaciones de borde provocadas por los apoyos en pilares en cada extremo, desarrollé el estado gamma, una aproximación aplicando un torsor de fuerzas infinitesimales normales a la cáscara en cada elemento *ds* de la sección estudiada, tal que anule las deformaciones debidas a los esfuerzos de cortante según el plano de la cáscara,

en el punto s. Tomando los estados de carga, el torsor resultante de los esfuerzos debidos a las solicitaciones transversales edt, lo llamamos F_{edt}, y al torsor de deformaciones resultantes de ese torsor de esfuerzos lo llamamos D_{edt}.

Este torsor de fuerzas Gamma F_G cuyo torsor de deformaciones D_G es tal que delta (gamma) más delta(edt), $D_{edt} + D_G$, es el torsor cero.

¿Para qué tomarse este trabajo?

Pues porque después de analizar las deformaciones de muchas cáscaras autoportantes de directriz circular como los alemanes, directriz parabólica como las catalanas y directriz catenaria como las uruguayas, resulta que muy aproximadamente en todas las deformaciones transversales debidas a *edt* son muy semejantes: hacia afuera en la clave, hacia adentro en los riñones y cero en los arranques.

Ensayamos una idea y el resultado es sorprendente, con un experimento mental como le gustaba decir a Einstein:

Tomamos una bóveda autoportante con directriz parabólica o catenaria, con una carga típica y peso propio:

- Se secciona en la bóveda, en una coordenada *x* arbitraria, un arco transversal de arranque a arranque, de ancho *dx* a lo largo de la bóveda y espesor *e* de la cáscara delgada.

- Lo cargamos con los esfuerzos transversales de corte según la lámina que resultan del corte en una y otra cara del arco, tendremos en cada segmento diferencial de longitud *ds* de ese arco, a una distancia *s* del arranque medida sobre la curva, una resultante exterior con *e.t.ds* en una cara y *e.(t+dt).ds* en la otra. En cada elemento de arco de coordenada *s* sobre la curva, de longitud *ds* y ancho *dx*, tendremos una fuerza resultante *e.dt.ds*, según la dirección *s*. Tomados el conjunto de vectores *e.dt.ds*, lo llamamos $F_{e.dt}$.

- Tomando todo el arco, analizado como un arco biarticulado, nos dará para ese torsor de fuerza $F_{e.dt}$ deformaciones transversales que son cero en los arranques, hacia adentro en los riñones y hacia afuera en la clave.

- La deformación D_{edt} medida transversalmente a la superficie del arco en cada punto nos da un conjunto de vectores que llamamos torsor de deformaciones D_{edt} .

Desde que vimos con el profesor Marcelo Sasson distintas aplicaciones en cáscaras de revolución, soy fanático de las vigas sobre fundación elástica. Un concepto brillante, y cómo sirve para analizar estructuras cáscara de revolución, perturbaciones de borde y otras historias. ¿No se podrían aplicar aquí para estudiar la perturbación de borde que es para la cáscara concentrar todo el peso para que resulte en una reacción que se descarga en el pilar del extremo?

Ahora vamos a crear otro experimento mental

Primero creo y coloco uno junto a otro los arcos de ancho *dx*, muchos, desde x=0 hasta llegar al otro extremo x=L. Tenemos infinitos arcos, desde un apoyo al otro, soportados por cuatro pilares.

Ahora imagino una larga viga, de longitud *L*, ancho *ds* y altura *e*, que es el espesor de la cáscara. La pongo sobre las claves de los arcos elementales, de un extremo al otro, y la atornillo a cada arco.

Luego coloco vigas iguales contiguas, una a cada lado por vez hasta llegar bajando a los arranques. Las llamaremos correas. Me quedó una superficie cilíndrica de arcos elementales y generatrices todas horizontales y como el forro de tablas de una cimbra. Este es el modelo Gamma como el casco de las tablas de un buque de madera.

Si ahora cargamos cualquier arco con un torsor de fuerzas semejante a las deformaciones D_{edt} que calculamos para el arco de ancho *dx* del ejemplo anterior, en cada punto del arco la deformación es proporcional al módulo escalar del torsor de fuerzas G aplicado. Es una demostración que excede la longitud de este informe, pero está en prensa.

Esto es el estado Gamma: para esa estructura autoportante cada tablón se comporta como una viga sobre fundación elástica, siempre que los esfuerzos sean fuerzas normales a la cáscara y en cada arco de coordenada *x* según una distribución según la coordenada *s* semejante a la deformación D_{edt}.

Se ha aplicado a bóvedas cerámicas de luces importantes y las mediciones de las deformaciones y los alcances medidos en *x* desde el pilar de las perturbaciones de apoyo en las cáscaras han sido consistentes con esta teoría, y hasta menores, lo que es lógico porque el modelo Gamma no considera momentos M_{xy} entre arcos y tablones, es más flexible que la realidad, es seguro.



Bóvedas autoportantes cerámicas

Para terminar, se puede extender el concepto para cáscaras de otras directrices y también pretensadas.

Acaba de cumplir 25 años la cáscara cerámica del escenario del Anfiteatro del Río Uruguay en Paysandú, donde además los ladrillos cerámicos rejilla tienen un papel estelar en la acústica excepcional del lugar. Esta es una cáscara cilíndrica hiperbólica con curvatura invertida pretensada que fue posible diseñar con este Método Gamma para cáscaras cilíndricas. Y hasta puesta de cabeza, para disipar ecos al espacio. Sí, se pudo, se pudo diseñar y se pudo construir.



Anfiteatro del Río Uruguay

Agradecmientos

Agradecimiento para el Ingeniero Eladio Dieste quién apoyó con los equipos informáticos y la crítica el desarrollo inicial del método Estado Gamma, y a los equipos profesionales de alta gama que apoyan el diseño y la construcción de estructuras cáscaras en Uruguay.

También a los selectos amigos como don Fernando Nicolás quienes han aprendido a apreciar al Uruguay y sus secretos.



Monitoreo de la resistencia del hormigón con tecnología IoT

MÉTODO DE MADUREZ

Autores

Ing. Verónica Serrano

Ingeniera Civil, CMS Estructuras Inteligentes

Ing. Martín Reina

Ingeniero Civil, Socio Fundador RDA Ingeniería

Resumen

El presente artículo explora el desarrollo de los equipos para aplicar el método de madurez para la evaluación en tiempo real de la resistencia del hormigón durante las primeras etapas de fraguado y endurecimiento. Se discuten los principios fundamentales del método, sus ventajas comparativas con las pruebas tradicionales de rotura de probetas, las aplicaciones prácticas en la industria de la construcción, el desarrollo y especificaciones técnicas de los equipos.

Introducción

La resistencia del hormigón es una característica esencial para la determinación de la durabilidad, seguridad y funcionalidad de una estructura. El método de determinación de la resistencia comúnmente utilizado es el análisis de resistencia por rotura a compresión, en donde es necesario tener probetas previamente preparadas o extraer muestras del elemento evaluado. Estos métodos de estimación, basados en fórmulas empíricas y experiencia acumulada a lo largo de los años, están limitados a ensayos de rotura en momentos puntuales en condiciones que se intentan asemejar, pero no llegan a replicar el comportamiento real del material en obra. En otras palabras, presenta una cantidad limitada de datos y una imprecisión en las características evaluadas. (1)

El método de madurez aparece a inicios de 1950, impulsado por el interés por parte de entidades públicas inglesas y norteamericanas de conocer el valor de la resistencia en tiempo real, para así evitar consecuencias trágicas en los procesos constructivos. Al obtener datos en tiempo real, el método ofrece una precisión esencial en momentos críticos cómo son el desencofrado, pretensado y postensado. El cálculo se basa en el principio de que la resistencia está directamente relacionada a la evolución de la temperatura a lo largo del tiempo de fraguado. (2) Actualmente cumple la norma UNE 83160-1 IN.

El presente artículo presenta el desarrollo de equipos con tecnología IoT, hardware y software, para el cálculo de la resistencia en tiempo real a través del método de madurez. Esta herramienta optimiza el proceso constructivo al permitir a los ingenieros tomar decisiones informadas basadas en datos continuos y precisos sobre una característica clave del hormigón, su resistencia, generando mayor eficiencia y productividad.

Desarrollo del método de madurez

El método de madurez, como se menciona previamente, surge a partir de la necesidad de obtener los valores de la resistencia de manera continua, después de algunos accidentes constructivos a causa de un desencofrado acelerado y resultados imprecisos de resistencia. El enfoque se basa en la correlación entre la madurez térmica, medida mediante el seguimiento de la temperatura interna del hormigón, y el desarrollo de su resistencia mecánica. Se han

establecido diversos modelos matemáticos para cuantificar esta relación a lo largo de los años, permitiendo estimar la resistencia del hormigón en diferentes etapas de su desarrollo. (3)

El concepto de madurez del hormigón fue introducido por primera vez en la década de 1950 por el ingeniero británico A.G.A. Saul (1). Saul desarrolló la teoría de que la resistencia del hormigón se podía predecir con mayor precisión al considerar tanto la temperatura como el tiempo de curado, en lugar de basarse únicamente en el tiempo. Este enfoque se fundamenta en la ley de Arrhenius, que describe cómo las reacciones químicas aceleran a mayores temperaturas. (2)

El método de madurez se puede calcular utilizando varias fórmulas, cada una desarrollada por diferentes investigadores y adaptada para condiciones específicas (2):

1. Factor temperatura-tiempo (Nurse-Saul, 1951):

$$M = \sum (T_a - T_0)\Delta t$$

Donde M(t) es la madurez en un tiempo t, Ta es la temperatura promedio del hormigón durante el intervalo de tiempo Δt, y T0 es la temperatura de referencia (normalmente 0 °C o 23 °C). Esta fórmula es sencilla y fácil de implementar, pero su principal limitación es que asume una relación lineal entre la temperatura y la tasa de reacción, lo cual no siempre es preciso para todas las condiciones de curado. (4)

2. Edad equivalente o adaptación de Arrhenius (Freiesleben Hansen y Pedersen, 1977):

$$t_e = \sum exp\left(\frac{E}{R}\left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T_a}\right)\right)\Delta t$$

Donde te es la edad equivalente a una temperatura específica Tr, Ea es la energía de activación (en J/mol), R es la constante universal de los gases (8.314 J/mol·K), y Ta es la temperatura absoluta del hormigón (en Kelvin). Esta fórmula es más precisa para una amplia gama de temperaturas porque tiene en cuenta la naturaleza exponencial de la relación entre la temperatura y la tasa de reacción. Sin embargo, requiere más datos y es más compleja de calcular. (3; 5; 6)

3. Madurez ponderada (Papadakis y Bresson, 1970s, adaptada por Vree, 1979):

$$M_w = \sum t_k T_k C^{n_k}$$

Donde Mw es la madurez ponderada (en °C-hora), tk es el tiempo de endurecimiento del hormigón (en horas), Tk es el intervalo de temperatura de endurecimiento (en °C), C es el valor C del cemento (un parámetro específico del tipo de cemento utilizado), y nk es el parámetro dependiente de la temperatura para Tk. (7; 8) La fórmula de madurez adaptada por Vree, basada en el trabajo de Papadakis y Bresson, presenta ventajas como la consideración detallada de la temperatura y la flexibilidad para diferentes tipos de cemento, ofreciendo una estimación más precisa de la resistencia del hormigón. Sin embargo, su implementación es más compleja y costosa debido a la necesidad de ajustar varios parámetros.

Problema

Conocer la resistencia del hormigón es un dato de fundamental importancia en la industria de la construcción. El método tradicional requiere la extracción de múltiples probetas, lo cual implica un proceso logístico complejo, genera un impacto ambiental significativo y no considera completamente las condiciones específicas de la obra, como las variaciones de temperatura y humedad.

Solución

El método de madurez se basa en la relación entre la temperatura y el tiempo de curado del hormigón para estimar su resistencia. Al utilizar sensores inalámbricos desarrollados con tecnología IoT, es posible monitorear estas variables en tiempo real, proporcionando datos continuos sobre la evolución de la resistencia del hormigón. Este enfoque permite una mayor precisión y optimización en la planificación y ejecución de obras.

El proceso requiere la determinación de una curva de calibración para cada mezcla y dosificación específica de hormigón a usarse en obra acorde a las normativas correspondientes al caso. (9; 10; 11)



Imagen 1 - Probetas de muestra para el análisis de la curva de calibración.

Desarrollo de Equipos para la medición de la Resistencia a través del método de madurez

Para aplicar el método de madurez en el fraguado del hormigón, es esencial obtener datos de temperatura de manera continua durante todo el proceso. La lectura constante de estos datos y la visualización en tiempo real de los cálculos de resistencia son clave para la efectividad del método.

En Uruguay, la empresa CMS-Estructuras Inteligentes fue fundada en 2020 con un proyecto financiado por la ANII. Desde entonces, ha diseñado y producido equipos específicos para implementar eficazmente este método.

El desarrollo de estos equipos de monitoreo incluye tanto hardware como software, utilizando tecnologías avanzadas de IoT. Los dispositivos, que son producidos localmente y en algunos casos mediante impresión 3D, representan innovaciones eficientes. Este esfuerzo demuestra la capacidad de las empresas uruguayas para desarrollar tecnología de punta que impulsa el crecimiento del sector de la construcción.

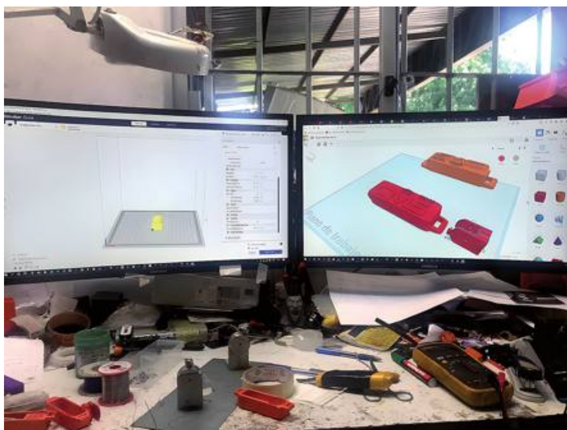


Imagen 2 - Proceso de diseño y producción de los equipos para la medición de la resistencia en tiempo real con el método de madurez.

Características técnicas de los equipos

1. **Termocuplas:** Para la medición de la temperatura de manera continua se seleccionaron termocuplas con un rango de lectura de -55 °C a 25 °C. Las termocuplas se basan en el efecto Seebeck (12), que genera una diferencia de potencial eléctrico cuando dos metales diferentes se unen en un punto (unión caliente) y se someten a una temperatura diferencial. Este voltaje generado es proporcional a la diferencia de temperatura entre la unión caliente y la unión de referencia (unión fría). Son una solución perfecta para las diferentes aplicaciones industriales y científicas, gracias a sus diferentes rangos de temperatura y precisión. Especialmente por su amplio rango de temperatura y durabilidad en ambientes extremos, son la solución ideal para la medición dentro del hormigón durante el proceso de fraguado.



Imagen 3 - Termocuplas diseñadas por CMS.

2. **Emisor de señal:** Para guardar los datos de temperatura de las termocuplas, se diseña el emisor de señal, que cumple también con la tarea del envío de los datos hacia otros equipos con mayor rango instalados en obra. Los componentes internos se fabrican con componentes electrónicos personalizados y programables, que incluyen un tiempo de memoria de hasta 5 días sin descarga y baterías con un tiempo de duración de 120 días. Dentro de las características de diseño, también incluye la toma de datos de temperatura cada 10 minutos, coincidente a lo establecido por el método de una continuidad de cada 30 minutos cómo mínimo.

   La tecnología de comunicación inalámbrica es LoRa (Long Range) de 433 MHz. LoRa es una tecnología de modulación de espectro expandido que permite la comunicación inalámbrica a larga distancia con bajo consumo de energía. La frecuencia de 433 MHz es una de las bandas ISM (Industrial, Scientific, and Medical) (13) que se utilizan para comunicaciones sin licencia en muchas partes del mundo. LoRa de

433 MHz es particularmente útil en aplicaciones donde la penetración de señal y la cobertura a larga distancia son críticas. (14)



Imagen 4 - Emisor de señal TH01-CMS.

3. **Gateway:** El Gateway actúa como el concentrador de datos, recibiendo las señales de los emisores y termocuplas. Desarrollado con tecnología IoT, este dispositivo procesa los datos y los envía a la nube en tiempo real. La fabricación local mediante impresión 3D permite una personalización y adaptación rápida a las necesidades específicas de cada proyecto.



Imagen 5 - Gateway GW01-CMS.



Imagen 6 - Placa electrónica interna desarrollada por CMS.

4. **Estación meteorológica:** Para complementar el monitoreo de la madurez del hormigón, se agrega una estación meteorológica que proporciona datos precisos sobre las condiciones ambientales. Esta estación mide variables como temperatura entre -20 °C a 70 °C, humedad entre 0% a 100% y velocidad del viento, integrando esta información en el análisis de madurez del hormigón.



Imagen 7 - Estación meteorológica EM01-CMS.

5. **Dashboard:** La visualización de datos, se realiza a través de una plataforma digital conocida como el Dashboard, en donde se pueden observar los datos de la temperatura obtenida por las termocuplas, así como los resultados del código en Python desarrollado para análisis y procesamiento en tiempo real.

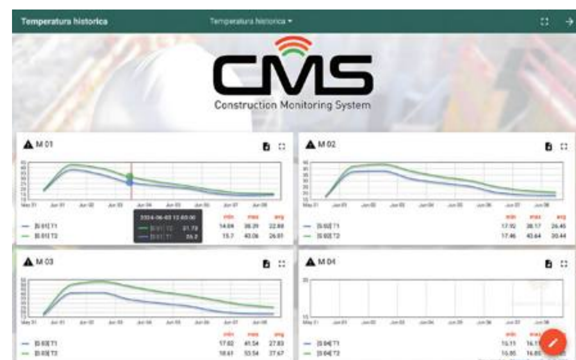


Imagen 8 - Dashboard: visualización de los registros de temperatura histórica de 3 emisores de señal (TH01) en tiempo real: M01, M02 y M03, conectados a 2 termocuplas cada uno. Estos resultados muestran únicamente la toma de temperatura en tiempo real, y son el resultado de un proyecto sin requerimiento de cálculo de resistencia.

6. **Servicio en la nube y reportes de datos:** Servicios de servidor en la nube y reportes de mediciones, para suministrar el servicio de transmisión de datos y servidores en la nube para alojar todos los datos medidos in situ. Estos datos son almacenados y procesados para la correcta visualización en tiempo real en computadoras personales, smartphone o tablets.



Imagen 9 - Dashboard: A la izquierda, visualización de la resistencia objetivo. A la derecha, el gráfico con el desarrollo de la resistencia en tiempo real en línea roja, el registro de las temperaturas de 2 termocuplas en verde y amarillo, y el promedio de ellas en azul. Estos resultados fueron tomados de un proyecto en donde se incluye la medición de la resistencia, así como el progreso de la temperatura en elementos de hormigón.

Limitaciones del método de madurez del hormigón y cómo contrarrestarlas

Variabilidad de los materiales:

- Descripción: La variabilidad en las propiedades de los materiales, como el tipo de cemento y los agregados, puede afectar la precisión de las predicciones de resistencia basadas en la madurez.
- Solución: Realizar calibraciones específicas para cada tipo de mezcla de hormigón utilizada en el proyecto. Implementar ensayos preliminares para determinar la relación entre madurez y resistencia para las mezclas particulares. (2)

Dependencia de mediciones precisamente calibradas

- Descripción: El método de madurez depende en gran medida de mediciones precisas de la temperatura y del tiempo. Cualquier error en la medición puede llevar a predicciones inexactas.
- Contrarrestar: Asegurarse de que los sensores de temperatura estén correctamente ubicados dentro del hormigón. (2)

Limitaciones en la predicción a largo plazo

- Descripción: El método de madurez es más efectivo para predicciones de resistencia a corto plazo y puede no ser tan preciso para estimar la resistencia a largo plazo.
- Contrarrestar: Utilizar el método de madurez en combinación con otros métodos de evaluación de resistencia a largo plazo, como ensayos destructivos de probetas y análisis estructurales. (2)

Implementando estas estrategias, se pueden mitigar las limitaciones del método de madurez, asegurando un uso más eficaz y preciso en la evaluación de la resistencia del hormigón.

Implementaciones y beneficios del monitoreo de la madurez del hormigón

1. Monitoreo continuo

Mediante el uso de sensores inalámbricos, los datos de temperatura se envían a una plataforma en la nube que calcula la madurez del hormigón en tiempo real. Este sistema permite obtener una visión completa y continua de la evolución de la resistencia, facilitando decisiones informadas durante las etapas críticas de la construcción. Este nivel de monitoreo continuo

es fundamental para detectar y corregir desviaciones en el proceso de curado antes de que se conviertan en problemas significativos. (10)

2. Optimización de tiempos

Conocer la resistencia del hormigón en tiempo real permite optimizar los tiempos de desencofrado y la programación de actividades subsecuentes, reduciendo significativamente los plazos de obra y mejorando la eficiencia global del proyecto. Esto se traduce en una reducción del tiempo de inactividad, permitiendo a los equipos de construcción avanzar de manera más rápida y eficiente a las siguientes fases del proyecto. En proyectos donde el tiempo es un factor crítico, como en la construcción de puentes y carreteras, esta optimización puede resultar en ahorros significativos en costos y recursos. Esto no solo mejora la coordinación entre diferentes equipos de trabajo, sino que también asegura que todas las partes del proyecto estén avanzando según lo planificado, evitando retrasos y sobrecostos. (15)

3. Mejora en la gestión de recursos

La capacidad de conocer la resistencia del hormigón en tiempo real permite una mejor gestión de los recursos materiales y humanos. Los ingenieros pueden planificar de manera más eficiente el uso de los materiales, reduciendo el desperdicio y optimizando el uso de los recursos disponibles. Esto también permite una mejor asignación de los equipos de trabajo, asegurando que estén disponibles cuando y donde se necesiten, mejorando así la productividad general del proyecto. (16)

4. Compatibilidad con normativas internacionales

El método de madurez está respaldado por numerosas normativas internacionales, lo que facilita su adopción en proyectos que deben cumplir con estándares de calidad y seguridad específicos. Esto también proporciona una base sólida para la validación y aceptación de los resultados obtenidos mediante este método, aumentando la confianza de los ingenieros y las partes interesadas en los datos proporcionados. La conformidad con normativas como el Eurocódigo y las guías del ACI respalda la fiabilidad y la precisión del método, facilitando su integración en diversos entornos regulatorios y proyectos de infraestructura a gran escala. (17; 7; 18; 19; 20; 21; 22; 9; 10)

5. Reducción de costos a largo plazo

Aunque la implementación inicial del método de madurez puede requerir una inversión en tecnología y capacitación, los beneficios a largo plazo en términos de reducción de costos de mantenimiento, reparación y operación compensan con creces estos costos iniciales. Al asegurar un curado adecuado y una resistencia óptima del hormigón desde el principio, se reducen las intervenciones necesarias a lo largo de la vida útil de la estructura, disminuyendo así los costos totales de propiedad. Además, la reducción de incidencias y fallos estructurales contribuye a una mayor satisfacción del cliente y una reputación mejorada para las empresas constructoras. (23)

Conclusión

El método de madurez se ha desarrollado en Norteamérica y Europa como una herramienta valiosa para la evaluación en tiempo real de la resistencia del hormigón, ofreciendo ventajas significativas en cuanto a representatividad de los datos y optimización de los procesos de construcción. Su implementación representa un avance significativo en la tecnología de la construcción. Este enfoque no solo mejora la eficiencia y precisión en el control de calidad del hormigón, sino que también contribuye a la sostenibilidad y optimización de los recursos en la industria. Su implementación generalizada en la industria de la ingeniería civil tiene el potencial de mejorar la calidad, seguridad y sostenibilidad de las estructuras de hormigón.

Bibliografía

1. Principles underlying the steam curing of concrete at atmospheric pressure. Saul, A.G.A. s.l. : Magazine of Concrete Research, 1951.

2. The maturity method: From theory to application. N.J. Carino, H.S. Lew. Gaithersburg, MD 20899-8611, USA : National Institute of Standards and Technology, 2001.

3. Maturity Method for Concrete: Comparison of Danish and American Experiments. Hansen, H.F., & Pedersen, E. Vol. 57, s.l. : ACI Journal, 1960, Vol. Proceedings. No. 8, pp. 873-890.

4. Carino, N.J. Maturity Method for Estimation of Concrete Strength. s.l. : National Institute of Standards and Technology, 2001.

5. Maturity computer for controlled curing and hardening of concrete. Hansen, P.F., & Pedersen, A. s.l. : Nordist Betong, 1977.

6. Curing of concrete structures. Freiesleben Hansen, P., & Pedersen, E. J. Copenhagen: Technical Univesity of Denmark, 1977.

7. Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method. ASTM International. s.l. : ASTM C1074-14, 2014.

8. 1R-03: In-Place Methods to Estimate Concrete Strength. ACI 228.

9. Determinación de la resistencia del hormigón a edades tempranas. UNE 83160-1 IN. Febrero del 2016.

10. Fabricación y curado de probetas para ensayo de resistencia. UNE-EN 12390-2. Febrero del 2020.

11. Determinación de la resistencia a compresión en probetas. UNE-EN 12390-3. Febrero de 2020.

12. Britannica T. Editors of Encyclopaedia. Encyclopedia Britannica. Seebeck effect. [En línea] 13 de Marzo de 2024. [Citado el: 11 de 07 de 2024.] http://www.britannica.com/science/Seebeck-effect

13. A study of LoRa Low power and wide area network technology. U. Noreen, A. Bounceur and L. Clavier. Fez, Morocco : International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing (ATSIP), 2017. pp. 1-6.

14. Shen, X. Predicting thermal performance of mass concrete. Iowa State University Digital Repository. [En línea] 2019. [Citado el: 11 de 07 de 2024.] http://dr.lib.iastate.edu/server/api/core/bitstreams/64f74159-3e69-43fb-b143-7b086fab3f84/content

15. Eyzaguirre Silca, A. Estudio del impacto de los avances tecnológicos en la productividad de la industria de la construcción. [En línea] [Citado el: 11 de 07 de 2024.] https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/19278

16. Vargas Fabres, C. Propuesta de control de madurez en pavimentos urbanosde hormigón. [En línea] 2019. [Citado el: 11 de 07 de 2024.] https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/170736

17. Standard Practice for Use of Maturity Method for Estimating Concrete Strength. AASHTO TP 90-09. s.l. : American Association of State Highway and Transportation Officials.

18. Eurocode 2: Design Concrete Structures - Part 1: General Rules and Rules for Buildings. European Committee for Standardization. EN 1992-1-1, 2004.

19. Parte 1: Reglas generales y condiciones para el ensayo y la clasificación del hormigón. Comité Europeo de Normalización (CEN). s.l. : Eurocódigo 2: Diseño de estructuras de hormigón.

20. Guide to Cold Weather Concreting. American Concrete Insitute (ACI). s.l. : ACI 306R-10, 2010.

21. Guidelines for the Use of the Maturity Method in Accelerated PCCP Construction. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration. 2002.

22. Activation Energy for the Concrete Maturity Model. Nordic Concrete Research. s.l. : Journal of Construction Engineering, 2020, Vols. Real-time monitoring of concrete strength: The maturity method.

23. Guzman Tapia, P. Aplicación del concepto de madurez en pavimentos urbanosde hormigón. [En línea] 2020. [Citado el: 11 de 07 de 2024.] https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/179640

24. Solution for spectrum monitoring of the industrial, scientific and medical (ISM) radio bands. V.C. Ferreira, R. C. Carrano, & B. Peres. Joao Pessoa : Latin American Network Operations and Management Symposium (LANOMS), 2015. pp.49-55.

25. Grybosky, L. (n.d). Thermal expansion and contraction. Pennsylvania State University. [En línea] [Citado el: 11 de 07 de 2024.] https://www.engr.psu.edu/ce/courses/ce584/concrete/library/cracking/thermalexpansioncontraction/thermalexpcontr.htm

26. Applications of the maturity method in large infrastructure projects. Lopez, M., & Diaz, P. s.l. : International Journal of Civil Engineering, 2020.

27. Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method. ASTM C1074-11.

28. Técnicas Instituto Uruguayo de Normas (UNIT). Proyecto y ejecución de estructuras de hormigón en masa o armado (UNIT 1050:2005). 2005.

29. Real-time monitoring of concrete strength: The maturity method. Anderson, S., & Ramirez, M. s.l.: Journal of Construction Engineering, 2018.

Programa de Becas en Ciberseguridad

¡48 becas entregadas!

Uruguay Presidencia · agesic · BID · Fundación Julio Ricaldoni · Universidad de la República Uruguay · Facultad de Ingeniería UdelaR · ORT Universidad ORT Uruguay

Becas Fundación Ricaldoni

Fundación Ricaldoni ya entregó 65 becas para promover los estudios de Ingeniería y del área científico-tecnológica. Te invitamos a conocer el **Programa de Becas FJR** y a sumarte realizando donaciones para seguir formando talentos en un país que necesita más ingenieras e ingenieros.

La primera donación para realizar estudios fue realizada en 2015 por los hijos y nietos de la Ing. Martha Peluffo de Jauge con el objetivo de apoyar a una estudiante mujer que se encontraba próxima a recibirse en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República (FIng-Udelar).



Acto de entrega de la Beca Martha Peluffo de Jauge edición 2023.

Beca Martha Peluffo



La estudiante de Ing. Química Isabella Buschiazzo ganadora de la edición 2023 de la Beca Martha Peluffo de Jauge con la directora ejecutiva de la FJR, Julieta López.

Beca Martha Peluffo: Isabella y Julieta

De esta forma la familia buscó no solo homenajear a la ingeniera sino también reconocer el esfuerzo realizado por la estudiante durante su carrera, facilitando recursos económicos para su culminación.

Martha Peluffo de Jauge ingresó a Facultad en 1932. Obtuvo su título en 1938, siendo la primera mujer en ser reconocida con la medalla de oro de la Facultad.

La beca Martha Peluffo se otorgó en 2015, 2019 y 2023 beneficiando a cuatro estudiantes mujeres. Los fondos fueron aportados por la familia Peluffo Jauge y, en una de las convocatorias, también por UTE.

En este artículo podrás conocer a las cuatro ganadoras:
https://www.ricaldoni.org.uy/noticias/741-beca-ingeniera-martha-peluffo-2023.html

Becas para estudiar Computación

En 2017, la *startup* TryoLabs realizó una donación para financiar la "Beca a la dedicación y al mérito académico" destinada a un estudiante que estuviera iniciando su carrera de Ingeniería en Computación en FIng-Udelar. En aquella ocasión se entregó la beca a un estudiante y se premió con una computadora portátil a otro.



Acto de entrega de las Becas a la dedicación y al mérito académico edición 2018 financiadas por startups uruguayas.

Becas startup

TryoLabs es una empresa uruguaya especializada en Inteligencia Artificial y *Machine Learning* creada por egresados de la Facultad de Ingeniería.

La iniciativa se repitió en 2019 cuando TryoLabs y las *startups* CódigoDelSur, Digital Forces y Moove It realizaron una donación a FJR para otorgar dos nuevas becas para apoyar la formación en Ingeniería en Computación.

La tercera edición se realizó en 2021 beneficiando a dos estudiantes gracias a la donación realizada por CodigoDelSur, Moove It y Tryolabs.

En este artículo podrás conocer a los seis beneficiados:
https://ricaldoni.org.uy/noticias/636-beca-ingenieria-en-computacion-2021-udelar-entrega.html

Becas para estudiar Ciberseguridad

En 2022 se lanzó el Programa de Becas en Ciberseguridad impulsado por AGESIC y Fundación Ricaldoni con el apoyo del BID en el marco del Proyecto de Fortalecimiento de la Ciberseguridad en Uruguay.

La iniciativa tiene el objetivo de facilitar y promover la formación y el desarrollo de capacidades locales en temas vinculados a ciberseguridad. Está destinada a técnicos y profesionales con interés en formarse o perfeccionarse en ciberseguridad estudiando posgrados ofrecidos por las Facultades de Ingeniería de la Universidad de la República y de la Universidad ORT.

Las convocatorias se repitieron en 2023 y 2024 beneficiando a un total de 48 estudiantes.

Aquí podrás conocer a los 48 ganadores:
https://ricaldoni.org.uy/component/sppagebuilder/?view=page&id=415

Becas para estudiar Matemática

En 2023 gracias a la donación realizada por Roberto y Vania Markarian, Fundación Ricaldoni lanzó las becas Osana Abrahamian para realizar estudios de grado, maestría y doctorado en matemática.

Roberto Markarian es un matemático y profesor grado 5 de la Facultad de Ingeniería. Fue rector de la Universidad de la República entre 2014 y 2018. En 2022 le fue otorgado el título de Doctor Honoris Causa por la Facultad de Ingeniería. Vania Markarian, hija de Roberto, es doctora en Historia y responsable del Área de Investigación Histórica del Archivo General de la Universidad de la República.



Acto de entrega de Becas
Osana Abrahamian (Donación Markarian)
2023 para estudiar matemática.

Becas Markarian

Estas becas buscan "poner en práctica algunas ideas que nos importan: el acceso a la educación de calidad, la igualdad de oportunidades, la solidaridad. Lo hacemos en nombre de Osana Abrahamian (madre del matemático y abuela de Vania), que nos las enseñó porque creyó en ellas aunque su experiencia de vida podría haberle indicado lo contrario", explicaron en la fundamentación de motivos que enviaron a Fundación Ricaldoni (FJR) para hacer efectiva la donación.

Se otorgaron 3 becas para la realización de estudios de grado en la Licenciatura en Matemática de la Facultad de Ciencias o en Ingeniería Físico-Matemática de FIng – Udelar.

También se otorgaron 3 becas dirigidas a profesores de Enseñanza Secundaria Pública para cursar las Maestrías en Matemática o en Ingeniería Matemática (Fing-Udelar) y una beca para estudiantes del Doctorado en Matemática en la Universidad de la República. Esta última convocatoria estuvo dirigida a estudiantes uruguayos o extranjeros que quisieran radicarse en Uruguay para realizar estos estudios.

En este artículo podrás conocer a los siete ganadores:
http://ricaldoni.org.uy/noticias/792-becas-markarian-matematica-osana-abrahamian-ganadores-2024.html



Seguir promoviendo talentos

"El país necesita más ingenieros, por lo que no debemos desperdiciar vocaciones. Desde la FJR llevamos adelante este Programa de Becas para colaborar en la formación de talentos que contribuyan al desarrollo del país", explicó la directora ejecutiva de FJR, Ing. Julieta López.

Fundación Ricaldoni gestiona los fondos donados por particulares y empresas, publica las bases de las convocatorias y las promociona para recibir la mayor cantidad posible de postulantes, los que son evaluados por un Comité de Selección independiente e integrado por personas idóneas y referentes de la Ingeniería. Su decisión se publica y se realiza un acto público y formal de entrega de becas en la Facultad de Ingeniería.

Les invitamos a sumarse a este programa a través de donaciones personales o donaciones especiales, las que permitirán continuar promoviendo los estudios de Ingeniería y los relacionados con el área científico-tecnológica en Uruguay.

Contacto: becas@ricaldoni.org.uy

Fundación
Julio Ricaldoni
INGENIERÍA EN EL URUGUAY



Programación y metodología BIM

Autor
Ing. Rodrigo Sánchez del Río

Introducción

De un tiempo a esta parte, los usuarios de software asociado a la metodología BIM nos encontramos en un dilema clave, y es que las opciones que ofrece el mercado comienzan a no poder cubrir nuestra necesidad de automatizar procesos y generar así un diferencial de calidad y eficiencia en nuestro trabajo.

Por esta razón, un número importante de profesionales de la arquitectura y la ingeniería han optado por desarrollar conocimientos de programación, ya sea para expandir las funcionalidades de un software como para crear nuevas herramientas desde cero, muchas veces sin tener conocimientos previos sino por el mero entusiasmo de romper las barreras impuestas por las ofertas del mercado.

Claro está que al aumentar la escala del proyecto se hace necesario conformar un equipo multidisciplinario, con ingenieros en programación que puedan desarrollar tareas más complejas y en ese caso, el profesional de la construcción deberá asistir con sus conocimientos para el adecuado desarrollo de los objetivos planteados, al igual que lo hace un BIM Manager que sin ser un experto modelador guía al equipo hacia la obtención de un modelo acorde a las necesidades del proyecto.

API: Interfaz de Programación de Aplicaciones

Una API es un conjunto de especificaciones que establecen cómo una parte de un software



puede comunicarse con otra, la cual puede ser interna o externa al mismo tiempo. Estas herramientas están abiertas a los usuarios, que si bien no podrán acceder a todo el código del software, sí tendrán las herramientas suficientes para expandir las funciones que vienen por defecto. Los lenguajes de programación más comunes utilizados por APIs de software BIM son:

- Programación visual. Si bien no es un lenguaje en sí mismo, permite a los usuarios manipular distintos procesos mediante una interfaz gráfica de diagrama de flujo, para modelar a partir de parámetros preestablecidos. Hay muchas variantes de este sistema, entre las que destacan Dynamo en Autodesk y Grasshopper.

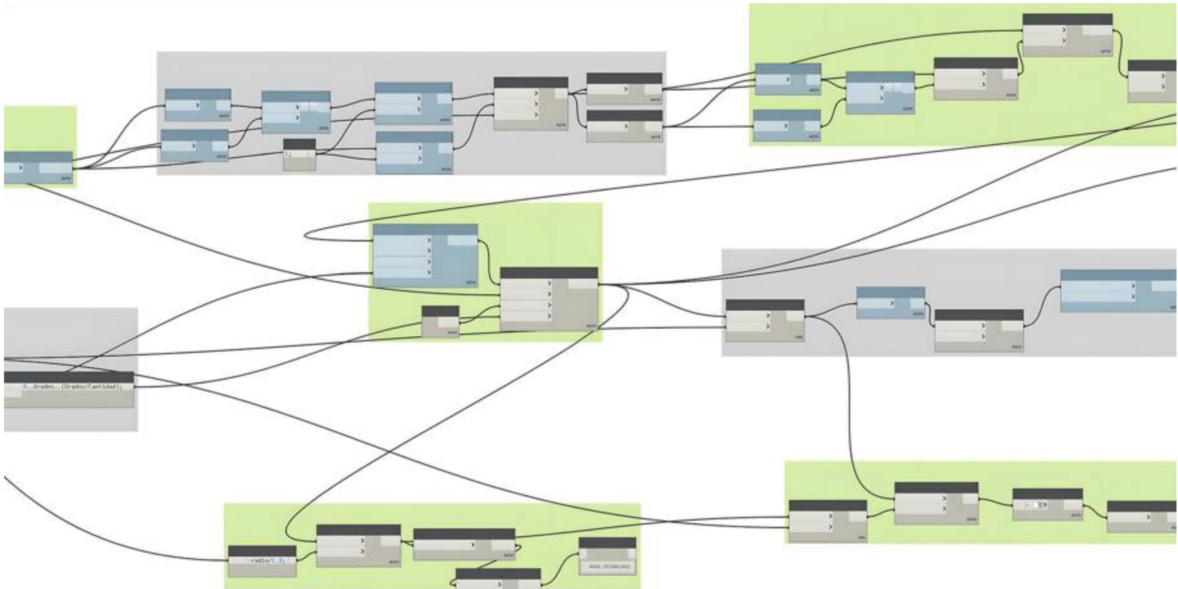


Figura 1. Interfaz de programación visual (Fuente: https://www.autodesk.es)

- Programación textual:
  * Python: Si bien su desarrollo data de la década del 80, su primera versión fue lanzada en 1991 en Países Bajos. Es de los más utilizados por su rápida curva de aprendizaje, facilidad de uso y gran versatilidad, ya que puede ejecutarse desde cualquier plataforma para una variedad de utilidades. Se combina con herramientas BIM como Revit o Archicad, incluso con otras herramientas de programación, como las visuales descritas anteriormente.
  * Además es el soporte de IfcOpenShell, un conjunto de funcionalidades que permiten manipular tanto geometría como datos de un archivo IFC y construir nuevas herramientas.
  * C#: Perteneciente a la llamada familia de lenguajes C. Lanzado por la empresa Microsoft en 1999, es un sistema que permite un control más preciso y eficiente de los recursos, sin embargo puede resultar más complejo de aprender. Es el lenguaje nativo de diversidad de APIs, como por ejemplo la de Revit en el área de modelado o Bexel Manager en el área de gestión de obra.
  * C++: Proveniente de la misma familia que C#, fue concebido en la década del 80 para desarrollar aplicaciones de alto nivel de rendimiento, muy difundido en la industria de los videojuegos. Es el lenguaje nativo de la API de ArchiCad.

AI: Inteligencia Artificial

Esta herramienta, tan en boga en estos tiempos, representa la rama de la informática que desarrolla software con inteligencia similar a la humana. Mediante ciertas consultas al ordenador se pueden desarrollar tareas de alta complejidad.

El propio paradigma de la metodología BIM arropa el concepto de ahorrar tiempo en ta-

reas repetitivas para poder destinarlas a la generación de valor agregado, lo que calza como anillo al dedo con el concepto de IA. En este sentido, como enumera la Arq. Camila Carranza en su escrito BIM + Inteligencia Artificial, podemos identificar los siguientes usos:

- Análisis predictivo: La IA puede utilizarse para analizar grandes cantidades de datos y predecir cómo se comportará un edificio en diferentes condiciones, lo que puede ayudar a optimizar su diseño y operación.
- Control de calidad automatizado: La IA puede utilizarse para analizar los modelos BIM y detectar automáticamente errores o problemas, lo que puede ahorrar tiempo y reducir los costos asociados con la revisión manual de los modelos. La IA puede ser utilizada para identificar problemas de interferencia entre elementos constructivos.
- Diseño generativo: La IA puede utilizarse para generar automáticamente diseños de edificios basados en parámetros específicos, como el uso previsto, la ubicación, el tamaño y los requisitos energéticos.

Cabe resaltar que esta tecnología está en pleno desarrollo y en los próximos años es de esperar que siga evolucionando y sus utilidades sean expandidas.

Desarrollo de herramientas web

Dentro de la programación textual, en 1995 aparece en escena el lenguaje por excelencia para el desarrollo de sitios web, denominado JavaScript. El mismo ha tenido una evolución exponencial a la par de Internet, desarrollando de manera permanente actualizaciones y nuevas variantes.

Entre esas variantes se encuentra la manipulación de modelos IFC, el formato de intercambio por excelencia dentro de los flujos de trabajo colaborativo de la metodología BIM. En este sentido, un equipo de emprendedores creó That Open Company (anteriormente IFC.js), una plataforma de libre acceso que permite a los usuarios desarrollar sus propias aplicaciones web. No solo eso, sino que ofrecen valiosos recursos de aprendizaje y una comunidad de usuarios sumamente colaborativa y en pleno crecimiento.

Jesús Valderrama, Director de Operaciones en That Open Company, nos da pantallazo sobre esta temática.

¿Cuándo y por qué surgió la iniciativa de formar That Open Company?

That Open Company surge como respuesta al descontento de gran parte del sector AECO ante el mercado del software actual.

En 2020 fue publicada una carta pública a Autodesk por parte de una agrupación de estudios de diseño británicos e internacionales en la que expresaban este descontento, a la que siguió dos años después otra similar por parte de un conjunto de asociaciones de arquitectos de los países nórdicos. Esto ilustra bastante bien un estado de opinión generalizado en el sector.

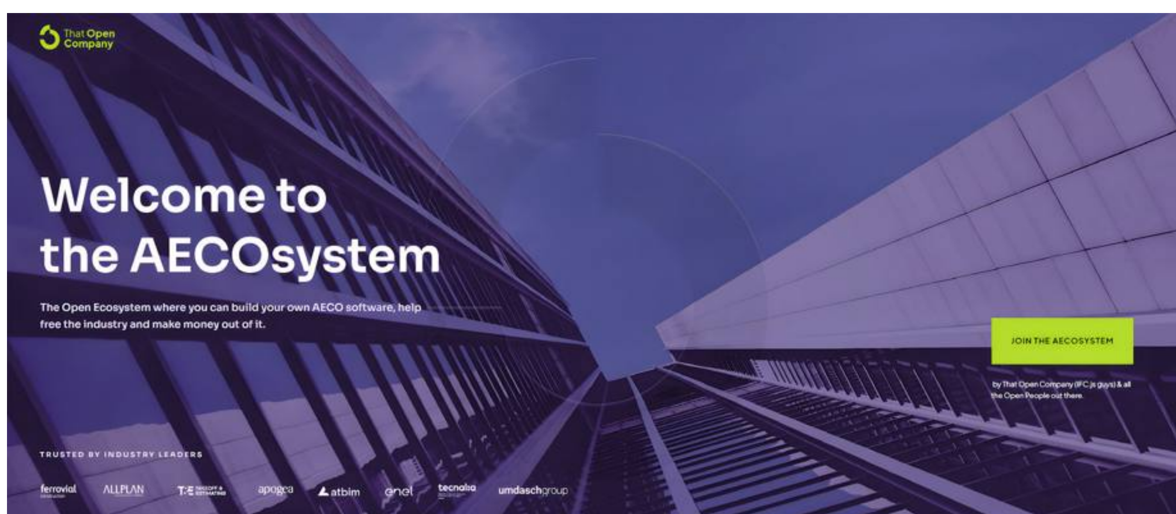


Figura 2. Plataforma de That Open Company (Fuente: https://thatopen.com/)

Fue durante ese año cuando Antonio González Viegas, fundador y CEO de That Open Company, publica una primera versión de IFC.js, unas librerías javascript para visualización de modelos BIM con licencia opensource.

Lo que comenzó como un proyecto personal, pronto captó gran interés y movió alrededor de él a una comunidad de desarrolladores y profesionales del sector AECO atraídos por la posibilidad de contribuir al proyecto y cambiar la situación.

Este movimiento fue creciendo y dos años después dio lugar a que Antonio, Enrique Moreno y yo mismo creáramos That Open Company y diéramos forma al AECOsystem.

¿Cómo describirían la herramienta?

El AECOsystem es el ecosistema abierto en el que cualquiera puede desarrollar su propio software AECO, ayudar a liberar la industria y ganar dinero con ello.

¿Qué beneficios entienden le da a la comunidad BIM en general y a los usuarios en particular?

En That Open Company creemos en una industria mucho más abierta, más libre. Una industria en la que no seamos esclavos de las herramientas, sino en la que la tecnología esté al servicio de las necesidades de cada profesional, de cada empresa.

Gracias al AECOsystem todo el mundo tendrá acceso a la tecnología necesaria para crear software BIM basado en estándares abiertos que se adapte a sus necesidades y desplegarlo donde quiera, teniendo así siempre el control de sus datos con total independencia.

¿Qué esperan para el futuro de la industria y en particular para That Open Company?

Somos conscientes de lo mucho que necesitamos un mundo más sostenible, por eso creamos tecnología para el sector AECO que permite diseñar, construir y explotar activos de una forma mucho más eficiente. Pero esto no se puede hacer haciendo oídos sordos a los usuarios. Por eso el crecimiento de That Open Company está basado 100% en la comunidad y gracias a ello está siendo un éxito.

Somos muy optimistas respecto al futuro del sector, sabemos que podemos cambiar el *statu quo* y haremos lo que haga falta para conseguirlo.

Conclusión

En los tiempos en los que vivimos, aunque parezca paradójico, el cambio se ha vuelto una constante. Este concepto se agudiza en la industria de la construcción y en particular en la metodología BIM, que si bien lleva una cantidad importante de años recorridos, continúa en constante desarrollo. Un ejemplo de ello son la cantidad de dimensiones y usos que se siguen sumando.



Figura 3. Dimensiones del BIM
(Fuente: https://biblus.accasoftware.com)

Los profesionales del sector necesitamos estar más que nunca atentos a las nuevas tendencias, tecnologías y mejoras en las metodologías que aparecen cada día. En este sentido, la programación parece ser una habilidad que llegó para quedarse y darle al usuario una libertad que hace unos años no hubiese soñado tener.

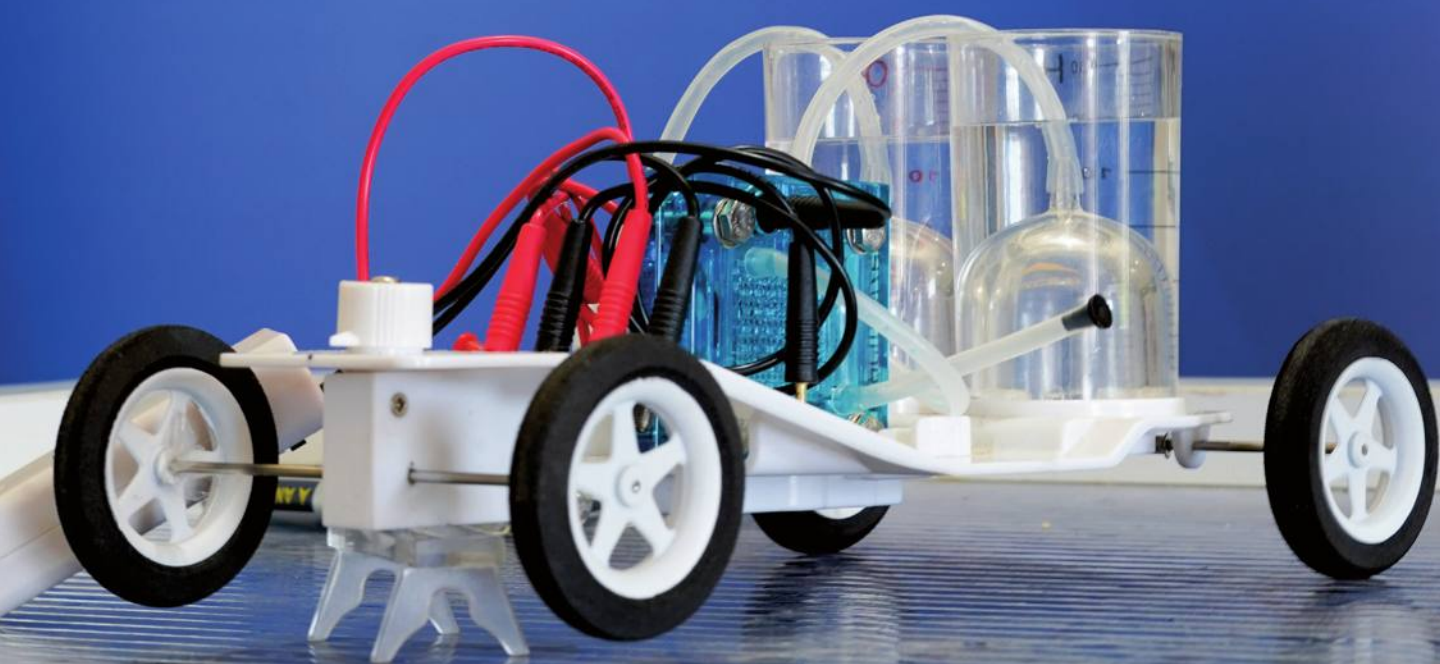
Por supuesto, con toda nueva habilidad aparecen nuevos retos. Por ejemplo, el nuevo papel de los programadores que ven como profesionales de otro sector "invaden" un nicho que antes era muy reservado para los especialistas. O el papel de las grandes corporaciones desarrolladoras de software que comienzan a prestar más atención al descontento de los usuarios y el aumento exponencial de las iniciativas de desarrollos propios.

La inteligencia artificial también jugará un rol clave en este tema ya que no sabemos aún cuál es el techo que puede alcanzar en sus posibilidades y que tanto podría suplantar al ser humano en las tareas de diseño y procesamiento de datos.

En definitiva, creo que nos esperan retos interesantes y desafiantes, cambios mucho más profundos que el pasaje del manuscrito al CAD o incluso del CAD al BIM, y debemos ser flexibles y estar preparados para comprenderlos, incorporarlos y encararlos con valentía y entusiasmo.



ANCAP





en la transición energética del Uruguay

Uruguay es considerado referente internacional tras haber descarbonizado prácticamente la totalidad de su generación eléctrica, poseer abundantes recursos renovables, ser un excelente destino para la inversión extranjera y reunir todas las condiciones para ser un pilar en la economía global del hidrógeno verde.

En ese sentido Uruguay se encamina a cumplir sus compromisos de "carbono neutralidad" para 2050 y exportar energía renovable en forma de hidrógeno verde y/o sus derivados.

La defensa de la neutralidad tecnológica con el aporte de decisiones en la Refinería de La Teja, la definición de la Ruta del Hidrógeno de Uruguay que presenta un panorama alentador para transformar al país en exportador neto de energía y los varios proyectos que en su marco lidera ANCAP, así como el compromiso institucional del país con la transición energética, son temas fundamentales del presente y futuro.

La estrategia de la transición energética de ANCAP tiene cuatro pilares: la introducción



de renovables en los consumos energéticos de la refinería y una mejor gestión de emisiones, captura de CO_2 de origen biogénico y de plantas cementeras, producción de combustibles sustentables a partir de aceites vegetales y la producción de hidrógeno verde a escala mundial en el mar.

En este sentido el Grupo ANCAP está comprometido con la reducción de emisiones de sus operaciones tradicionales en todas sus plantas industriales y además avanza en el desarrollo de energías alternativas y sostenibles, con distintos proyectos como:

H2U Offshore

H2U es un programa que impulsa el gobierno uruguayo para el desarrollo de hidrógeno en Uruguay. En ese sentido, ANCAP está liderando el capítulo H2U Offshore de la hoja de ruta mediante un sistema de licitaciones internacionales (rondas) para la producción de hidrógeno y derivados a partir de eólica offshore por parte de privados a su propio costo y riesgo.

Uruguay cuenta con un excelente recurso eólico y una amplia plataforma continental con bajas profundidades de agua, que lo hace muy atractivo para la producción de hidrógeno y derivados a partir de energía eólica.

La iniciativa apunta a que grandes empresas inversoras realicen la evaluación de factibilidad y potencial producción de hidrógeno verde y/o derivados a partir de energías renovables generadas en áreas costa afuera.

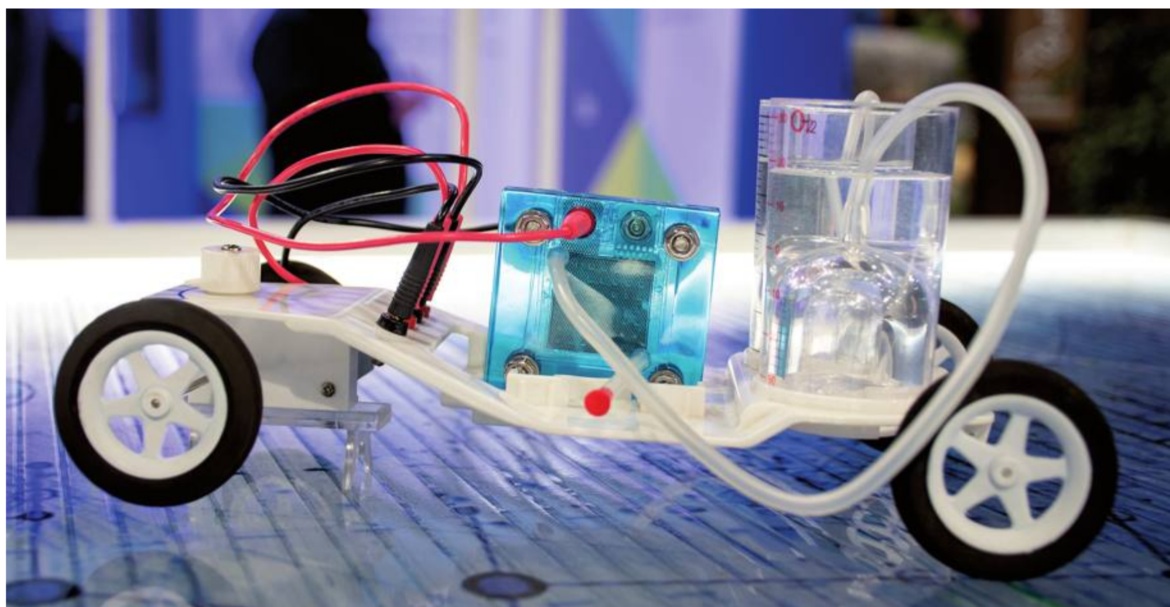
Combustibles sintéticos (e-fuels)

El Grupo ANCAP apuesta dar origen al primer proyecto de e-fuels en Uruguay y al desarrollo de una nueva generación de combustibles. En 2023 se seleccionó a HIF Global para desarrollar un proyecto para la producción de metanol y gasolina sintética en Paysandú, a partir del CO_2 biogénico derivado de la operación de ALUR (empresa del grupo ANCAP) en su planta industrial de bioetanol y de la generación eléctrica dedicada para la producción de hidrógeno verde. El proyecto culminó positivamente su fase de factibilidad y pasó a la fase de ingeniería, esperando una decisión final de inversión en el segundo semestre de 2025.

Segunda generación de biocombustibles

El Grupo ANCAP trabaja para desarrollar la producción de combustibles sustentables sobre la base de la tecnología HEFA (Hydrotreated Esters and Fatty Acid), a partir de aceites vegetales, aceite usado de cocina, sebo vacuno y otros residuos grasos.





Estas materias primas que se tratarán en instalaciones de ALUR serán procesadas con hidrógeno de bajo carbono en la Refinería de La Teja para obtener combustibles renovables: biogasoil, bioturbocombustible para aviones (SAF) bionafta y biopropano.

El Grupo ANCAP prepara un llamado a expresiones de interés para incorporar socios que tengan interés en escalar el proyecto que se prevé en operación para 2028.

El objetivo es satisfacer la demanda de mercados desarrollados para incorporar combustible de aviación sostenible y el cumplimiento de regulaciones de la industria de aviación en ese sentido. Este proyecto es para una capacidad de 150 mil toneladas por año de materia prima.

La instalación tiene dos alcances: uno de ANCAP que será en la refinería de La Teja, y otro en ALUR que será responsable de la obtención y pretratamiento de las materias primas.

ALUR es una empresa del Grupo ANCAP agroindustrial. Procesa diferentes materias primas, desde cultivos como cereales, oleaginosos y caña de azúcar, hasta aceite reciclado y grasa animal, obteniendo diversos productos como biodiesel, bioetanol, harinas proteicas (alimento animal), energía eléctrica, glicerina y azúcar.

Investigación y Desarrollo

Además de los proyectos antes mencionados, ANCAP trabaja en forma continua para reducir las emisiones en sus operaciones tradicionales.

Por otra parte, la empresa cuenta con un equipo de Geociencias que investiga en forma permanente la viabilidad de nuestros suelos para contribuir en la Transición Energética. El potencial del hidrógeno natural y el almacenamiento de CO2 en acuíferos salinos forman parte de dicha investigación, así como el desarrollo de un piloto a escala industrial para producir SAF a partir de etanol.



Firmar con prestadores de servicios de confianza

RIESGOS Y PRECAUCIONES A TENER EN CUENTA

Autores
Ing. Alfonso Vicente , Ariel Sabiguero, Gonzalo Esnal

En un mundo cada vez más digital, la confianza en las transacciones electrónicas es esencial. Este artículo aborda los cuidados necesarios al firmar con Prestadores de Servicios de Confianza y explora las vulnerabilidades actuales en los mecanismos de autenticación. Se realiza un recorrido histórico desde los fundamentos de la criptografía y la firma digital hasta la legislación y las amenazas de seguridad.

Criptografía

El cifrado es una técnica que modifica un mensaje para hacerlo ilegible, de manera que solo pueda ser revertido a su forma original mediante el descifrado. Esta técnica permite comunicaciones seguras a través de canales inseguros. La disciplina que estudia y desarrolla estas técnicas se llama criptografía.

Diffie, Hellman y la criptografía de clave pública

Hasta la década de 1970 la criptografía era de clave simétrica, lo que significa que la misma clave se usaba tanto para cifrar como para descifrar. En 1976, Whitfield Diffie y Martin Hellman revolucionaron la criptografía al proponer el uso de dos claves: una privada y otra pública. [1] Las claves siempre habían sido privadas, por lo que la idea de una clave pública era casi una herejía. Esta propuesta, llamada "criptografía de clave pública", se basa en el uso de una clave pública para cifrar y una clave privada, que debe mantenerse bajo control exclusivo del titular para descifrar.

Rivest, Shamir, Adleman, Alice y Bob

En 1978, Rivest, Shamir y Adleman publicaron un artículo [2] donde propusieron una implementación segura de la "función unidireccional" buscada por Diffie y Hellman. Una función f es unidireccional si, para cualquier argumento x en el dominio de f, es fácil calcular $f(x)$, pero es computacionalmente inviable resolver $y=f(x)$ para casi todos los y en el rango de f.

La seguridad de este método, conocido como RSA (por las iniciales de los autores), se basa en la dificultad de factorizar un número muy grande. RSA utiliza dos números primos muy grandes p y q para generar las claves privada y pública. Aunque el producto $p*q$ sea público, los factores p y q permanecen ocultos debido a la complejidad de factorizar $p*q$.

Rivest, Shamir y Adleman ilustraron esta mecánica con dos personajes ficticios llamados Alice y Bob. Si Bob quiere enviar un mensaje privado a Alice, lo cifra con la clave pública de Alice, y solo Alice, que posee la clave privada correspondiente, puede descifrarlo.

De manera similar Bob puede cifrar un mensaje con su clave privada, permitiendo que cualquiera pueda descifrarlo con su clave pública. Esto es útil para verificar la autenticidad del mensaje, asegurando que proviene realmente de Bob.

Firma digital

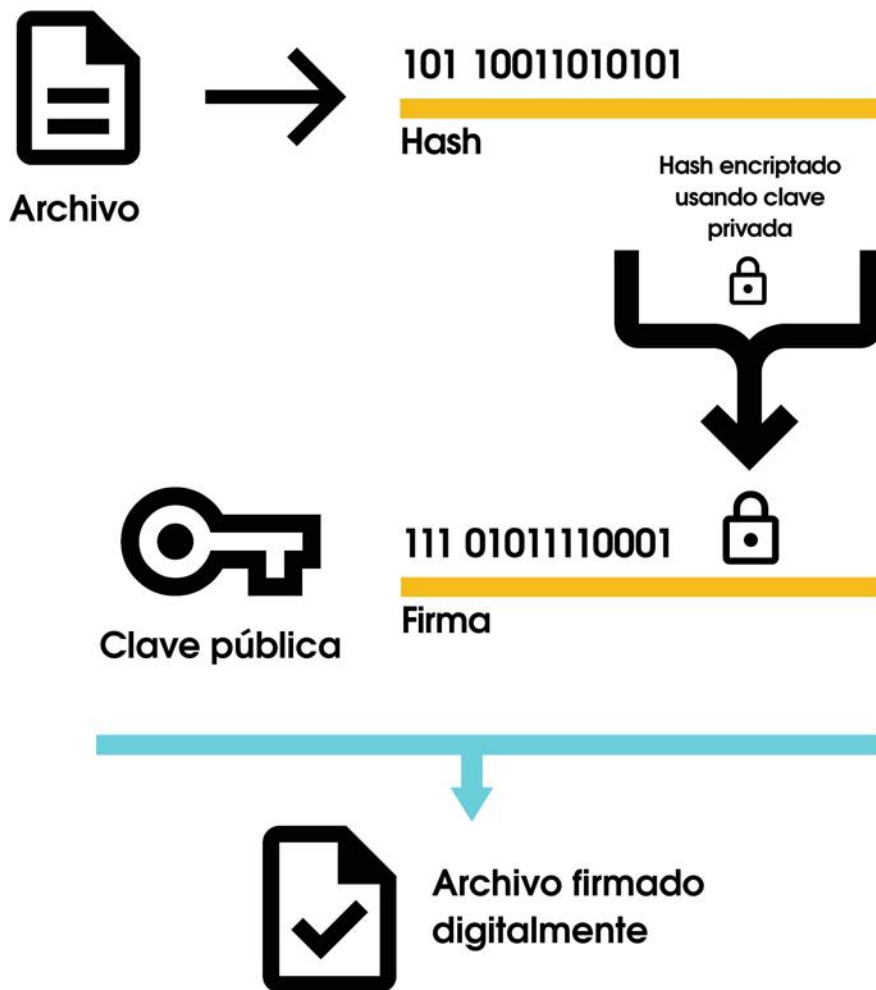
Diffie y Hellman se dieron cuenta de que, para ofrecer medios electrónicos equivalentes a los contratos en papel, se necesitaba "descubrir un fenómeno digital con las mismas propiedades que una firma escrita. Debe ser fácil para cualquiera reconocer la firma como auténtica, pero imposible de producir para cualquiera que no sea el firmante legítimo". [1]

La firma digital se basa en la criptografía de clave pública y "debe depender del mensaje, así como del firmante". [2] Si Bob quiere enviar un documento cifrado, calcula un hash del men-



Foto: Puerto de Colonia del Sacramento.

saje (un código de longitud fija que identifica el documento) y lo cifra con su clave privada. El hash cifrado se convierte en la firma digital y se adjunta al documento. Posteriormente cualquiera puede descifrar el hash cifrado y recalcular el hash del documento. Si estos códigos coinciden, el validador sabe que el documento fue firmado con la clave privada correspondiente a la clave pública de Bob (autenticidad), que el documento no fue modificado (integridad) y Bob no puede negar haberlo firmado pues solamente él posee su clave privada (no repudio).



Corresponde aclarar que el concepto de firma digital en la jerga de PKI es totalmente diferente a nuestra definición legal de firma electrónica, y puede decirse equivalente al concepto de firma electrónica avanzada de nuestra legislación. [3]

Infraestructura de clave pública

Un problema de las claves públicas es cómo vincular una clave con una persona (física o jurídica) real. En 1978, Kohnfelder [4] propuso encapsular toda la información relevante en una estructura de datos llamada certificado digital, generada por una autoridad de certificación (CA, por sus siglas en inglés).

La recomendación X.509 [5], publicada por primera vez en 1988 por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU-T), es un estándar para la infraestructura de clave pública (PKI, por sus siglas en inglés) y los certificados digitales. Define el formato de estos certificados y las funciones de las CAs.

Hubo objeciones a la visión de una administración centralizada con autoridades. En 1991, Phil Zimmermann desarrolló Pretty Good Privacy (PGP), una herramienta para cifrar y firmar correos electrónicos con un fuerte énfasis en la descentralización. [6] PGP permite a los usuarios generar sus propias claves y utilizar un mo-

delo de "Web of Trust" en lugar de depender de autoridades de certificación centralizadas. Sin embargo, en términos de adopción, la PKI se impuso.

Cadenas de confianza

En la PKI, confiamos en la identidad presentada por un certificado digital si confiamos en la CA que lo emitió. Y confiamos en la CA si confiamos en la identidad de una Autoridad Certificadora Raíz (Root CA). Esta confianza "directa" en la Root CA es relativa ya que en realidad no solemos conocer su identidad. Sin embargo, sus certificados vienen preinstalados en los almacenes de confianza **(trust stores)** del software que utilizamos, como sistemas operativos y navegadores web. En última instancia confiamos en los desarrolladores del software o, en el caso de software de código abierto, en la comunidad de expertos que revisa el código para detectar amenazas.

Los certificados emitidos para servidores web son generados por CAs que pueden ser organizaciones privadas o públicas de buena reputación. Estas CAs tienen sus certificados firmados por Root CAs que también pueden ser organizaciones privadas o gubernamentales y son ampliamente reconocidas por su alta reputación. Por ejemplo, el certificado que asegura la identidad de aiu.org.uy fue emitido por Let's Encrypt y el certificado de Let's Encrypt fue emitido por el Internet Security Research Group.

Legislación de la firma digital

Con la firma digital de personas físicas y jurídicas, los estados comenzaron a generar legislación para reconocer su validez y eficacia jurídica. En la década de 1990 varios estados fueron pioneros en este campo. Destacan la Directiva 1999/93/EC de la Unión Europea [7] en 1999 y la Ley de Firmas Electrónicas en el Comercio Global y Nacional (ESIGN Act) de Estados Unidos [8] en 2000. En Uruguay se promulgó la Ley 18.600, conocida como la Ley de Documento Electrónico y Firma Electrónica. [3]

En varios países de la región la legislación establece la creación de una única Root CA administrada por una organización gubernamental. Uruguay no es la excepción, y la Ley 18.600 designa a la Agencia para el Desarrollo del Gobierno de Gestión Electrónica y la Sociedad de la Información y del Conocimiento (AGESIC) como la Autoridad Certificadora Raíz Nacional (ACRN). [3] Esta Root CA emite certificados para prestadores de servicios de certificación acreditados, como la Dirección Nacional de Identificación Civil (DNIC), El Correo, Abitab y ANTEL, que a su vez emiten certificados para personas físicas y jurídicas.

La Ley 18.600 insiste en la necesidad de que el firmante tenga el **control exclusivo** de su certificado electrónico. Para que una firma electrónica sea avanzada, debe "ser creada por medios que el firmante pueda mantener bajo su **exclusivo control**" (Art. 2, lit. K, num. 2). Un firmante es "una persona que utiliza bajo su **exclusivo control** un [...] certificado reconocido para efectuar operaciones de [...] firma electrónica avanzada". Un titular de un certificado es una "persona que utiliza bajo su **exclusivo control** un certificado electrónico" (Art. 2, lit. Ñ). La ley establece que la firma electrónica avanzada "tendrá idéntica validez y eficacia que la firma autógrafa [...] siempre que esté debidamente autenticada por claves u otros procedimientos seguros que: [...] C) garanticen que la firma electrónica avanzada ha sido creada usando medios que el signatario mantiene bajo su **exclusivo control**" (Art. 6). También es obligación del firmante "mantener el **control exclusivo** de sus datos de creación de firma electrónica avanzada, no compartirlos e impedir su divulgación" (Art. 26, lit. B).

Hay una buena razón para tanta insistencia. Si una persona perdiera el exclusivo control de su certificado, **otra persona podría firmar en su nombre**.

Custodia centralizada y prestadores de servicios de confianza

La Ley 19.535 [9] promulgada en 2017, añade a la Ley 18.600 los artículos 31, 32 y 33. Estos artículos regulan a los Prestadores de Servicios de Confianza, quienes deben "prestar servicios de confianza que brinden seguridad jurídica a los hechos, actos y negocios realizados o registrados por medios electrónicos, incluyendo la creación, verificación y validación de firmas electrónicas avanzadas con custodia centralizada" (Art. 31). Además, deben "disponer de mecanismos seguros para el registro y autenticación de personas para su identificación digital" (Art. 31).

Actualmente en Uruguay existen dos Prestadores de Servicios de Confianza: Abitab y ANTEL,

que ofrecen los servicios ID Digital y TuID respectivamente. En estos casos, el firmante pierde el control exclusivo de su certificado y comparte el control con el prestador quien debe "custodiar diligentemente la clave del firmante" (Art. 31, lit. A). El firmante debe confiar en su prestador ya que está expuesto a "fechorías, errores o descuidos". [10] Si el acceso al certificado se compromete, **otra persona podría firmar en su nombre**. Aunque existen varias formas de comprometer el acceso al certificado, nos centraremos en una que es técnicamente viable en la actualidad.

Vulnerabilidades en la autenticación

El acceso legítimo a las funcionalidades de firma se realiza a través de una aplicación web, y opcionalmente con una aplicación específica para celulares. Por el momento dejaremos la alternativa opcional de usar el celular y nos concentraremos en la alternativa de utilizar sólo la web. Tanto ID Digital como TuID permiten la autenticación mediante un usuario y una contraseña, y la firma de documentos utilizando un número de identificación personal (PIN).

En ambos casos no se permite el acceso por HTTP y se realiza exclusivamente a través de HTTPS, lo que significa que el tráfico está necesariamente cifrado. Normalmente este tráfico está cifrado "de extremo a extremo", siendo un extremo el prestador y el otro el firmante. Sin embargo, si una persona usa un dispositivo o red que no administra podría ser víctima de un ataque conocido como Man In The Middle (MITM). En este ataque alguien se coloca "en el medio" entre los dos extremos haciéndose pasar por el prestador ante el usuario y por el usuario ante el prestador. Esta posibilidad no es remota. Muchas empresas e incluso organismos estatales utilizan herramientas de inspección profunda de paquetes (packet inspection, deep inspection o TLS break and inspection) que —con el objetivo de detectar amenazas en el tráfico cifrado— permiten realizar este tipo de ataque.

Contrato







Firmar con prestadores de servicios de confianza...

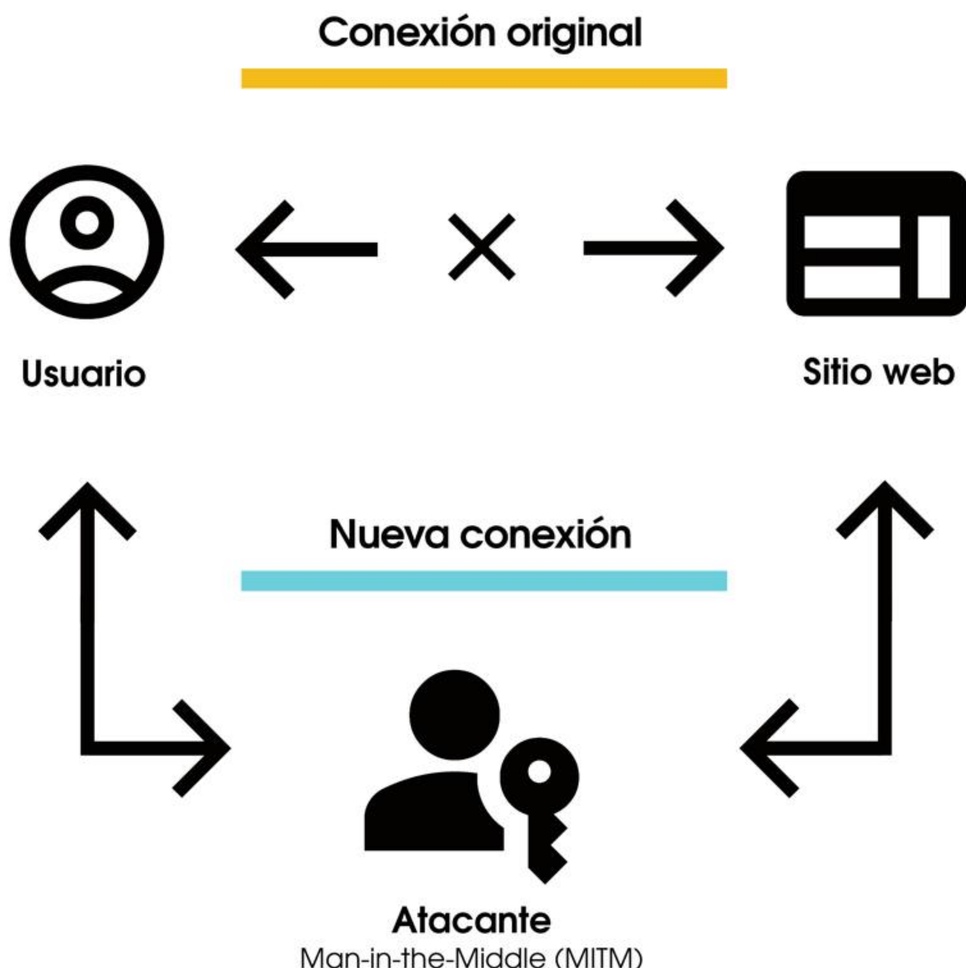
La Directiva 22/022 de la Unidad Reguladora y de Control de Datos Personales (URCDP) [11] advierte a las empresas que el uso de estas técnicas es legítimo siempre que informen a sus usuarios sobre el alcance de las mismas. Es probable que la mayoría de las organizaciones que utilizan esta técnica lo hagan exclusivamente para detectar amenazas y no estén espiando a sus usuarios, pero un usuario no tendría forma de verificar que no lo espían: si se está realizando un MITM y se rompió el cifrado de extremo a extremo, es una posibilidad.

Los autores realizamos pruebas con motivos de investigación y observamos que al realizar un ataque MITM se pueden ver los datos del usuario, la contraseña y el PIN en texto claro. En otras palabras, los sistemas de ID Digital y TuID confían únicamente en el cifrado de HTTPS y no utilizan técnicas adicionales de cifrado del lado del cliente para prevenir un ataque MITM. Debemos insistir en que ambos prestadores ofrecen la alternativa de autenticación a través del celular, pero esta es opcional y sigue estando disponible la opción de autenticarse con usuario y contraseña, y firmar introduciendo el PIN en la aplicación web.

Por otro lado, a través de solicitudes de acceso a la información pública detectamos que 8 organismos del estado de 30 consultados no cumplen con el Dictamen N° 22/022 de la URCDP. En otras palabras, más de un 25% de los organismos consultados utilizan la técnica de MITM y no informaron "previamente a los empleados de los alcances de la técnica referida". [11] Los datos no pueden extrapolarse pero es posible que muchas organizaciones tanto públicas como privadas estén en las mismas condiciones de incumplimiento.

Conclusiones y recomendaciones

Como ciudadanos debemos ser conscientes que perder el control exclusivo del acceso a nuestros certificados es un riesgo. Los Prestadores de Servicios de Confianza ofrecen facilidad de uso y disponibilidad. No importa si per-



demos la cédula, un token o el celular, siempre podremos firmar a través de la aplicación web de nuestro prestador. Sin embargo corremos riesgos que pueden tener una probabilidad muy baja pero un impacto muy alto.

Si se deciden utilizar los servicios de confianza de un prestador, **es recomendable utilizar siempre la autenticación a través del celular.**

Además, al utilizar servicios críticos con dispositivos ajenos es aconsejable validar que los certificados de los sitios sean legítimos. Y en caso de duda, consultar con un experto de confianza.

Referencias

[1] Diffie, W., & Hellman, M. E. (2022). New directions in cryptography. In Democratizing Cryptography: The Work of Whitfield Diffie and Martin Hellman (pp. 365-390).

[2] Rivest, R. L., Shamir, A., & Adleman, L. (1978). A method for obtaining digital signatures and public-key cryptosystems. Communications of the ACM, 21(2), 120-126.

[3] Uruguay. (2009, setiembre 21). Ley n.° 18.600: de 2009. Ley de documento electrónico y firma electrónica. Admisibilidad, validez y eficacia.

[4] Kohnfelder, L. M. (1978). Towards a practical public-key cryptosystem (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).

[5] International Telecommunication Union. (2019). Information technology - Open systems interconnection - The Directory: Public-key and attribute certificate frameworks (ITU-T Recommendation X.509).

[6] Levy, S. (2002). Cripto: cómo los informáticos libertarios vencieron al gobierno y salvaguardaron la intimidad en la era digital. Madrid: Alianza.

[7] European Parliament and Council of the European Union. (1999). Directive 1999/93/EC of the European Parliament and of the Council of 13 December 1999 on a Community framework for electronic signatures.

[8] Electronic Signatures in Global and National Commerce Act, Pub. L. No. 106-229, 114 Stat. 464 (2000).

[9] Uruguay. (2017, setiembre 25). Ley n.° 19.535: Ley de aprobación de rendición de cuentas y balance de ejecución presupuestal. Ejercicio 2016.

[10] Tilly, C. (2010) Confianza y gobierno. Buenos Aires: Amorrortu.

[11] Unidad Reguladora y de Control de Datos Personales. (2022). Dictamen N° 2/2022.

Ariel Sabiguero
ORCID: 0009-0008-6759-0865
Universidad de la República
Correo: asabigue@fing.edu.uy

Gonzalo Esnal
ORCID: 0009-0006-3256-7169
Universidad de la República
Correo: gonzalo.esnal@fder.edu.uy

Alfonso Vicente
ORCID: 0000-0003-3575-5326
Universidad de la República
Correo: avicente@fing.edu.uy





Renovación de la Central Hidroeléctrica de Rincón de Baygorria

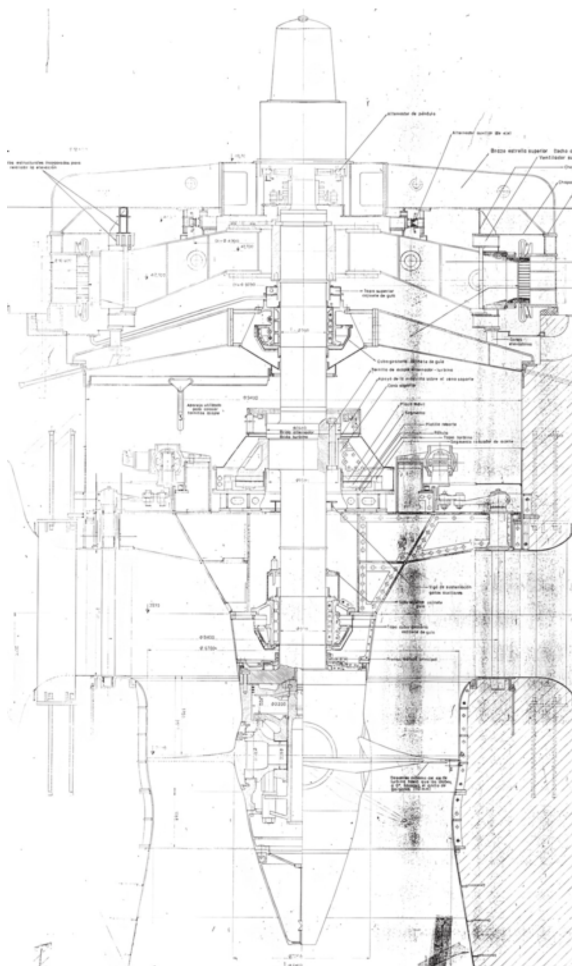
Autores

Ing. Fernando Macri

Director de Obra del Proyecto Renovación Baygorria UTE, Generación.
Tiene vasta experiencia en proyectos en generación, eólica, térmica e hidráulica

Ing. Christian Brandner

Especialista en proyectos UTE, Generación.
Posee experiencia en proyectos de gran porte en generación eléctrica, así como ingeniería mecánica



Corte de unidad generadora actual.

Breve resumen histórico

La Central Baygorria fue planificada para aprovechar la energía hidroeléctrica del Río Negro y proyectada por el Ing. A. Ludin en los años 1950. Sus constructores fueron, Siemens-Schuckertwerke AG; Siemens-BauunionGmbH; Philips-Holzmann AG y Grün & Bilfinger AG.

En la actualidad, cuenta con tres Grupos Generadores cuyas turbinas Kaplan y equipos auxiliares son NOHAB y los generadores de eje vertical SIEMENS que datan de esa época.

Grupo generador

La Central comenzó a operar en el año 1960 según se indica a continuación:

- Unidad 3: 22/06/60
- Unidad 2: 20/08/60
- Unidad 1: 08/10/60

Estadísticas

Con respecto a la vida útil de unidades generadoras como las de Baygorria, podemos indicar que estadísticamente a nivel mundial se considera para turbinas Kaplan un máximo de 50 años y para las instalaciones eléctricas (generadores-transformadores) un máximo de 40 años. Baygorria está operando prácticamente en forma ininterrumpida hace 64 años y esto se debe al cuidado y el trabajo realizado por los equipos de mantenimiento y operación de UTE durante todos estos años: ingenieros y funcionarios técnicos de la empresa que logran mantener la disponibilidad de las máquinas en niveles elevados.

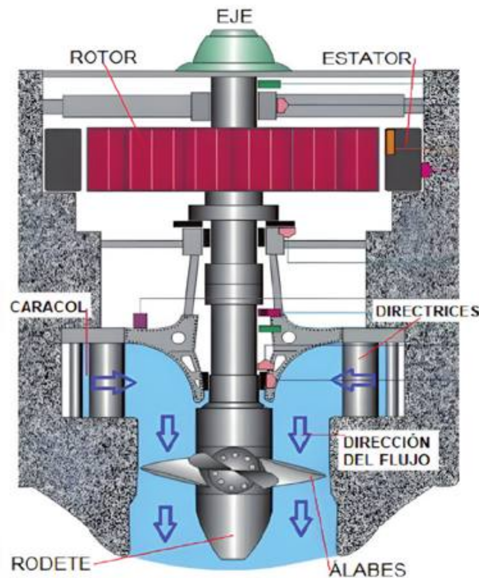


Vista de la sala de máquinas.

Actualidad

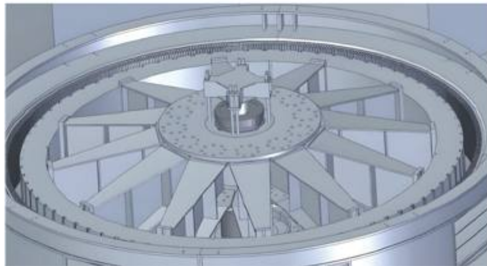
El desgaste natural de varios de los equipos principales, la sobrevida alcanzada junto con la obsolescencia de la tecnología de los sistemas de control y mando, son las principales causas que definen el momento de llevar adelante la renovación.

Como ejemplo, se detectó un problema en el generador donde se presentaron fisuras en los brazos de la estrella del rotor. Fisuras que, si bien hoy se encuentran bajo monitoreo y control, es necesario resolver definitivamente.





Brazos de la estrella del rotor





Corte general de un grupo Kaplan.
Abajo: modelo 3D de la estrella de Baygorria. Derecha: defecto hallado con partículas magnéticas.

Proceso de contratación

El proceso de contratación fue multidisciplinario, se extendió a lo largo de varios años y demandó esfuerzos constantes en todas las etapas. Esto se debe a que proyectos de esta dimensión deben considerar varios aspectos como ser los técnicos, presupuestales, costo-beneficio y ciertas limitantes para esta obra en particular que enumeramos a continuación:

1) La necesidad de renovación de una unidad por vez, debido a importantes limitaciones de espacio en la sala de máquinas y la logística del desarme y armado debido a la capacidad de carga de las grúas de la central. Esta situación genera el desafío de trabajar en el mismo espacio físico durante toda la obra de renovación con el personal del contratista, y la operación y mantenimiento de UTE. O sea, una unidad detenida en renovación y dos unidades operativas durante 4 años, compartiendo activos en conjunto sin generar atrasos.

2) El lucro cesante que genera una unidad generadora detenida. Implica minimizar el tiempo total de unidad detenida respetando los plazos consensuados a nivel contractual. Esto va en línea con la detención de una unidad por vez.

3) La metodología de pago por hitos. Esta ingeniería de pagos debe acompasar el proyecto e intenta balancear las erogaciones necesarias por el contratista y las restricciones por parte de UTE para evitar el pago por encima de lo avanzado durante el plazo total del proyecto.

4) Garantías de las unidades renovadas. Es clave la definición de criterios técnicos específicos, como ser la realización de un ensayo a escala de las turbinas (ensayo de modelo), y la medición de posibles daños por cavitación luego de un periodo de funcionamiento de la unidad recepcionada. Esto se termina reflejando en las multas asociadas.

5) Disponer en sitio de los equipamientos clave previos a la entrega de la unidad al contratista. El desarrollo de ingeniería y la fabricación del equipamiento principal se debe realizar previamente a efectos de disminuir el riesgo de extensiones de plazo que impacten la renovación y generen perjuicios para las empresas. Contar con los equipos en sitio previo a la detención de la unidad maximizan la disponibilidad y quitan un nivel de incertidumbre en el retraso del camino crítico del proyecto.

Al comienzo de este emprendimiento, se estudiaron varias posibles soluciones y luego se optó por la definición de la mejor solución desde el punto de vista técnico-económico para UTE con el apoyo de la consultora CNR (Compañía Nacional del Ródano).

Posteriormente se elaboró un estudio para la autorización ambiental especial y la aprobación por parte de la OPP del proyecto de inversión. Como etapa final de la elaboración de documentos se contrató a la consultora STANTEC mediante licitación que asistió a UTE en la elaboración del pliego de condiciones para la parte técnica particular. El objetivo fue buscar ofertas con empresas de primer nivel mundial que permitan obtener una mejora tanto en la potencia como en el rendimiento de las unidades generadoras y sin cavitar, que poseyeran experiencia en este tipo de renovaciones y capacidad técnica de desarrollo de turbinas.

Como las turbinas de Baygorria no han presentado cavitación observable a lo largo de su vida, las nuevas turbinas se verán desafiadas a conservar esta ventaja pero que a su vez mejoren el rendimiento y potencia manteniendo las mismas estructuras civiles existentes.

Línea de tiempo



Resumen del proceso licitatorio.

Culminando este proceso, se publicó la compra en tres instancias, respondiendo las consultas a los oferentes y se analizaron las diferentes ofertas respectivamente, levantando los apartamientos contractuales observados, resultando en diciembre de 2022 la firma del contrato con el consorcio SACEEM - ANDRITZ HYDRO.

Alcance de las tareas

Se trata de un proyecto en el estilo llave en mano con un EPC, los aspectos relevantes de esta contratación son:

Modelado

Se realiza el modelado de la turbina con el objetivo de validar y verificar las mejoras propuestas en la oferta del contratista. Este paso es clave pues define lo que será el diseño geométrico y la validación de las pruebas en sitio a través de los valores hidráulicos adimensionados que se conservan entre el modelo y el prototipo de la turbina.

Ingeniería de detalle

Toda la ingeniería de actualización y sustitución de sistemas auxiliares, adaptaciones a la estructura civil, rediseños necesarios y detalles constructivos de las edificaciones anexas como sistemas actualizados. Asimismo, al final del proyecto, la entrega de toda la documentación conforme a obra.

Fabricación y suministros

El contratista será también responsable de la contratación de los suministros de servicios, equipos generales y la fabricación de los equipos y máquinas específicas para la central.



Obra electromecánica y construcción

Tareas civiles para las edificaciones y de obras anexas además de las tareas de cada grupo generador, desarmado y rearmado de turbo-grupos, montaje de cañerías y reubicaciones de equipamientos.

Pruebas

Todas las pruebas en fábrica y en sitio necesarias para asegurar la calidad de los equipos que se instalarán según los estándares correspondientes.

Formación

Se incluye también la formación del equipo técnico de la central para la operación y mantenimiento de la central renovada.

Garantía

El contratista debe mantener una garantía de 18 meses luego de la recepción provisoria ante cualquier defecto que aparezca incluyendo su reparación y/o mejora, que contempla la extensión de facto por igual plazo para ese componente reparado. Asimismo, la garantía técnica de rendimiento y potencia de las unidades también se incluye dentro del alcance.

El marco temporal de este alcance es hasta el 2030, donde aplica renovaciones a la central íntegra, incluyendo sistemas comunes como el respaldo de corriente continua o los cableados del aliviadero, además de las 3 unidades generadoras y sus sistemas.

Estado actual

El proyecto se encuentra hoy en el estado de definición de los detalles de ingeniería (en un estado avanzado de progreso) y con tareas de implantación en sitio como obradores y talleres provisorios.

Durante el año 2023 se desarrolló el modelo computacional de dinámica de fluidos (CFD) permitiendo la simulación específica para la creación de la turbina óptima posible para las condiciones que se pedían en la contratación.

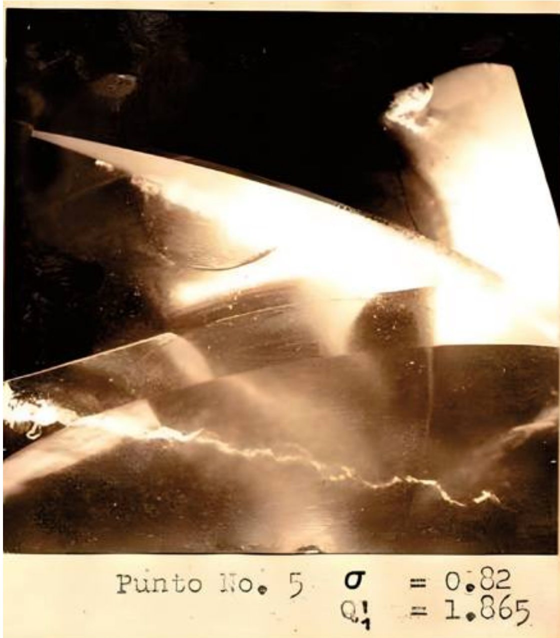
Posteriormente, con el modelo computacional validado se procedió a crear el modelo físico para representar y validar el diseño de la turbina según la norma IEC 60193.

Esta norma además de las tolerancias constructivas para realizar los ensayos en laboratorios, tiene toda la parte técnica de las mediciones y criterios de aceptación de los ensayos de modelo.

La aceptación de este modelo implica que se debe asistir y evaluar para distintos puntos de funcionamiento en el banco del laboratorio las características cuantitativas (valores adimensionados) y cualitativas (observación de los distintos tipos de cavitación).

Con el ensayo de modelo aceptado queda definido el perfil hidráulico de la pala permitiendo comenzar con la fase de fabricación que está prevista que culmine en octubre de este año para la primera turbina.

También están en fabricación los componentes del generador, en especial la estructura del estator (etapa de final de tratamiento superficial) y bobinados, que es de lo primero que se comenzará a montar en sitio.



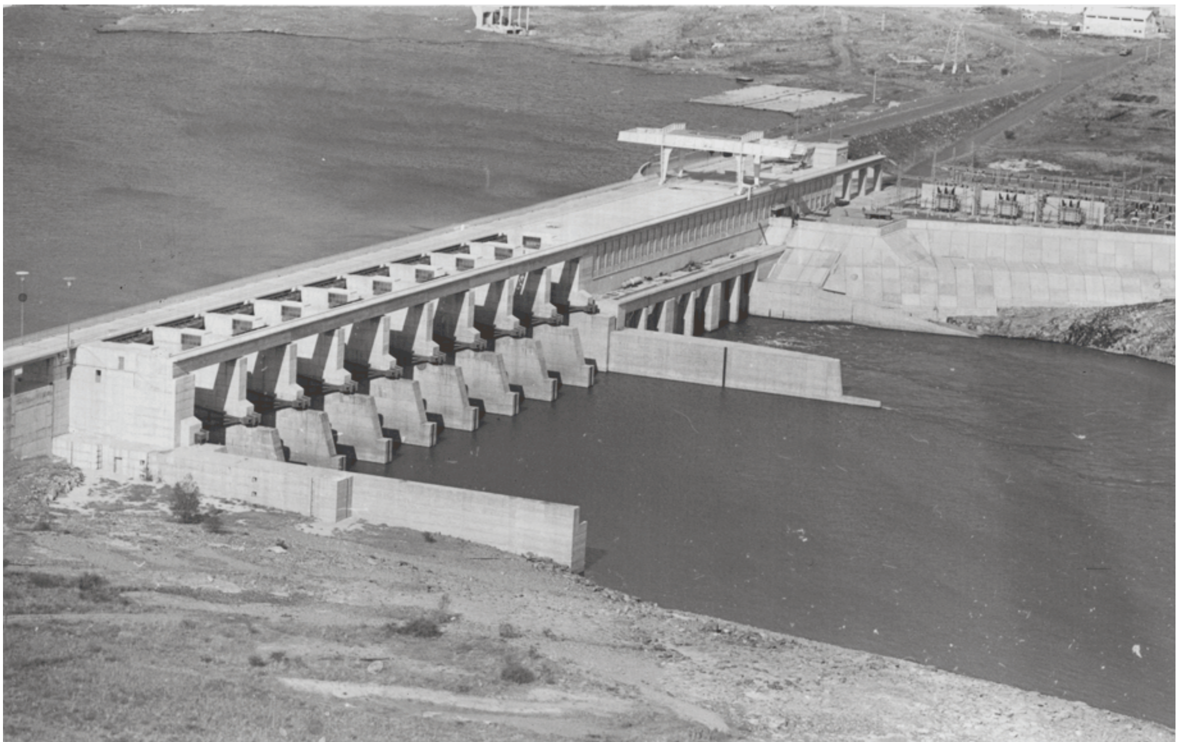


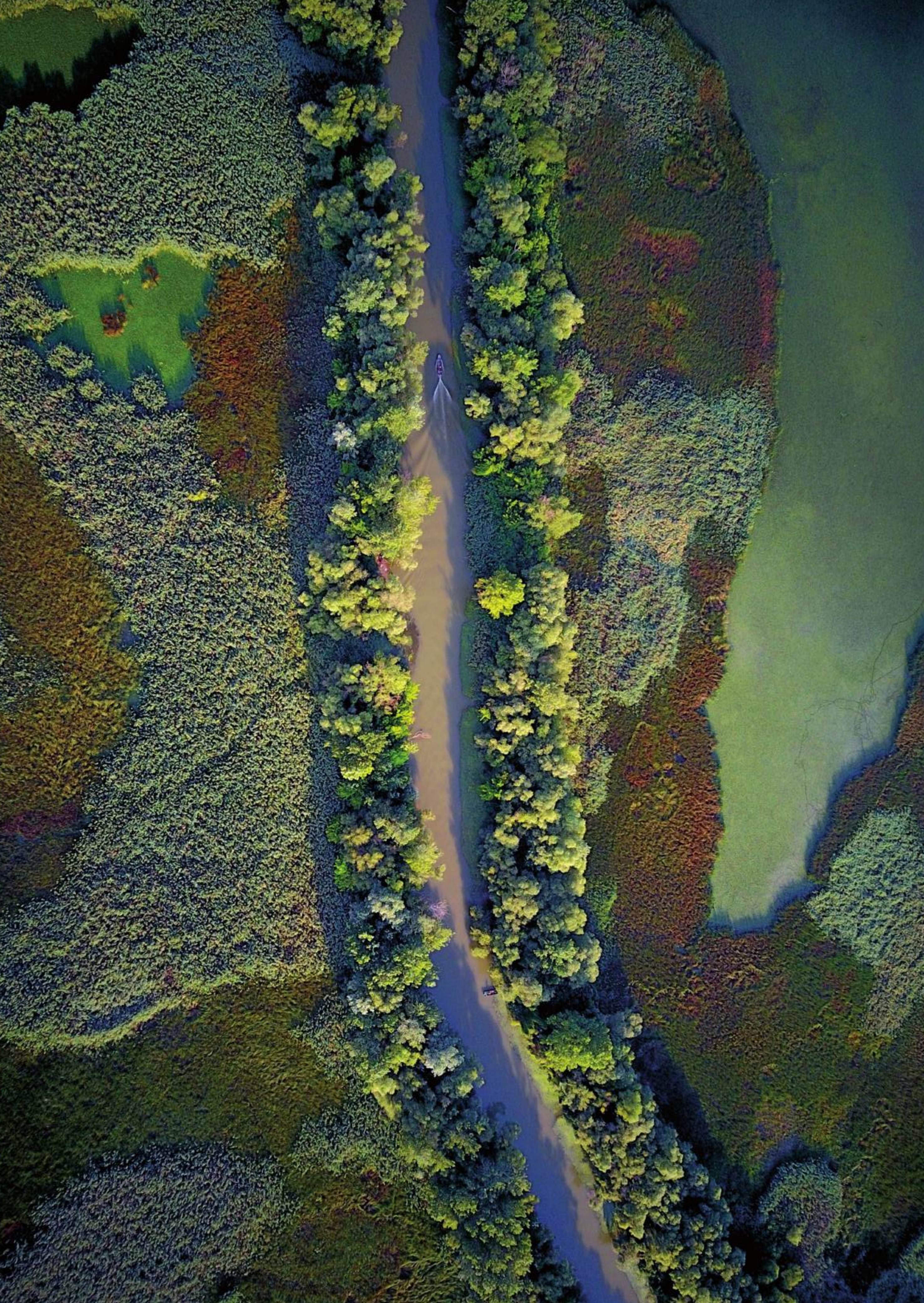
N11=139.2 q11=1.67
σ=0.79

Comparación de imágenes observadas para números adimensionados similares. Izquierda: Ensayo de modelo original. Derecha: Ensayo de modelo realizado para este proyecto (prediciendo el comportamiento futuro de la turbina).

Conclusión

Renovaciones de este porte ocurren cada 40 o 50 años debido a los desgastes naturales y cuando los avances de la tecnología son muy significativos, esto representa un desafío de ingeniería a nivel nacional. Además, la central de Baygorria presenta una gran importancia en el Sistema Interconectado Nacional y su renovación asegurará una fuente renovable de energía eléctrica para muchos años más para beneficio de todos los uruguayos.





Planificación estratégica aplicada a la construcción de infraestructura azul-verde

Autor
Ing. Civil Víctor Sposito Acquistapace
Udelar; Profesor (Hon) Universidad ORT Uruguay;
Deakin University, Australia

En un artículo anterior (Ingeniería, N°99, abril 2024) nos referimos a la Planificación Espacial (Territorial) Estratégica aplicada a la producción de hidrógeno vía Clústeres Verdes, considerados como Proyectos Estratégicos. En este artículo analizamos otra aplicación de la planificación estratégica que ofrece interesantes oportunidades para implementación en Uruguay.

1. Introducción

La intensidad de los impactos del cambio del clima y eventos extremos del tiempo, como sequias, inundaciones, fuegos incontrolables, prolongadas olas de calor y fuertes tormentas, muestran la vulnerabilidad de los ecosistemas naturales, así como serios efectos a los seres humanos. Perjuicios a los asentamientos humanos e infraestructura, disrupción de la producción agropecuaria y del suministro de agua potable y agua para usos industriales y de riego, son algunos de los efectos más conocidos. Estos impactos son usualmente agravados por la falta de preparación a enfrentarlos por parte de los gobiernos y de las comunidades.

Cambio del clima en Uruguay - Proyecciones

Uruguay es muy vulnerable a los cambios climáticos debido a la influencia del clima en la producción agropecuaria y forestación, y en el turismo internacional. La adaptación al clima en el país se centra en la sostenibilidad de la producción alimenticia, forestación, energía, recursos del agua y sectores de la salud pública [1] [2]. *Este artículo analiza las iniciativas relacionadas con los recursos hídricos.*

Figuras 1(a) y 1(b) muestran las proyecciones del clima para Uruguay –temperatura y precipitación– basadas en los escenarios "Share Socioeconomic Pathways" (SSPs). SSPs son escenarios del cambio de clima que representan posibles desarrollos de la sociedad global y políticas hasta fines del Siglo XXI, de acuerdo con distintas suposiciones elaboradas por el IPCC [3]. El peor escenario es el SSP5-85 con emisiones de los gases de invernadero aproximadamente el doble de las actuales debido al continuo uso de combustibles fósiles. El mejor escenario es el SSP1-19 con las emisiones declinando a cero alrededor del año 2050. Para el horizonte cercano (2020-2044), los mode-

los proyectan el aumento de la *temperatura media anual promediada en la superficie de la Tierra* entre 2.6 °C y 5.5 °C y no hay diferencias grandes entre los escenarios. Para el horizonte lejano (2075-2099), en el escenario SSP5-85 el aumento de temperatura oscilaría entre 2.6 °C y 5.5 °C. Las proyecciones de las *precipitaciones medias anuales* en todo el país muestran una gran variabilidad interanual sobrepuesta a una tendencia progresiva positiva. La acumulación anual de lluvias en el país representaría un cambio entre 5% y 10% para el horizonte cercano y entre -7% y 35% para el horizonte lejano dependiendo del escenario y del modelo. El aumento en la temperatura estará acompañado por un incremento en el contenido de vapor de agua en la atmósfera, por lo que se intensificarán las tormentas y precipitaciones torrenciales en ausencia de otros cambios [4] [5].

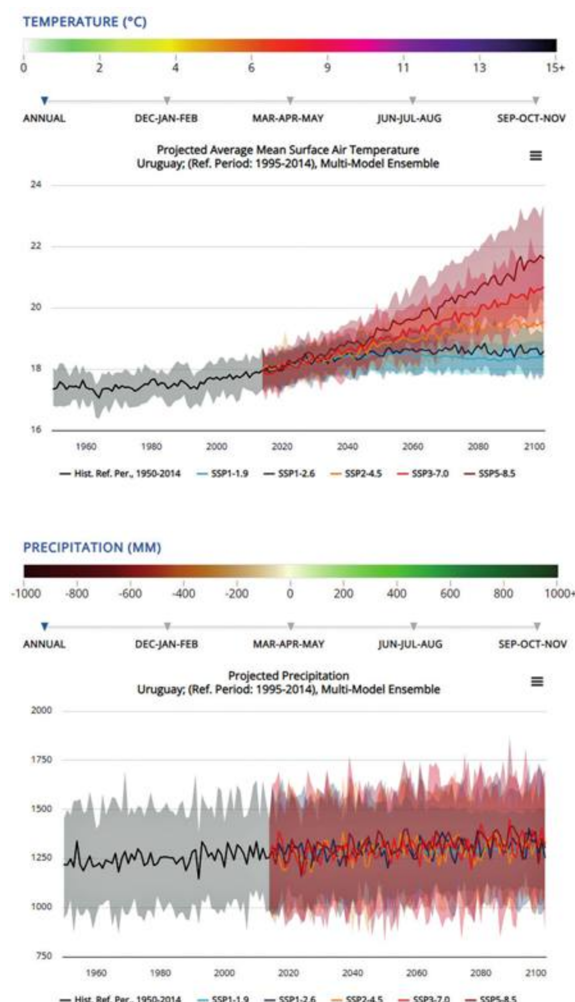


Fig. 1 - Proyecciones climáticas para Uruguay - temperatura media anual promediada en la superficie de la Tierra y precipitaciones medias anuales. Fuente: World Bank [4].

Pertinentes iniciativas en Uruguay con relación a los recursos hidrológicos

El Plan Nacional de Aguas Pluviales Urbanas para Uruguay [6] se enfoca en la adopción de soluciones basadas en la naturaleza (SBN) dentro del concepto de una implementación híbrida con infraestructuras tradicionales denominadas "grises". SBN es un término genérico referente a "acciones que protegen, conservan, gestionan (manejan) en forma sostenible y restauran ecosistemas naturales o modificados, respondiendo a desafíos de la sociedad en forma efectiva y adaptable y que, al mismo tiempo, proveen beneficios para los seres humanos y la biodiversidad" [7] - ver también la definición más amplia de UNEP [8]. Un tipo de SNB que ofrece aplicaciones innovadoras, efectivas y eficientes es la denominada *Infraestructura Azul-Verde*.

En mayo de este año se firmó un acuerdo entre el gobierno Uruguayo, a través del Ministerio de Ambiente, y el gobierno de España para conjuntamente desarrollar el proyecto *"Soluciones basadas en la naturaleza para el manejo sostenible y amortiguar los efectos de la sequía en la cuenca del Río Santa Lucía"*. Este proyecto tiene tres objetivos: (i) diseñar, instalar y realizar un seguimiento de zonas de amortiguación con enfoque agroecológico a escala de predio y contribuir al manejo sostenible de áreas riparias (que involucran bosques nativos y humedales); (ii) profundizar en el conocimiento hidrológico a escala de subcuencas para mejorar la gestión sustentable del agua con enfoque de déficit hídrico; (iii) desarrollar acciones de capacitación, difusión y concientización que promuevan la transición hacia sistemas agroecológicos, el uso sostenible del agua y el manejo sostenible de áreas riparias y para amortiguar los efectos de eventos extremos del tiempo [9].

2. Respuesta sustentable al cambio del clima: infraestructura azul-verde

Definimos [10] [11] Infraestructura Azul-Verde - IAV / **azul = agua**, **verde = vegetación** ("Blue-Green Infraestructure" - BGI) como una red interconectada de componentes naturales y diseñados (seminaturales) del paisaje, incluyendo ríos y arroyos, cuerpos de aguas y espacios abiertos verdes, que proveen funciones múltiples como: (a) control de las inundaciones, (b) reservoir de aguas para consumo humano, irrigación e industrias, (c) humedales

("wetlands") para la purificación de aguas y/o conservación de la flora y fauna, (d) producción de biocombustibles basados en vegetación de humedales y (e) áreas para actividades recreacionales.

Un antecedente importante de la IAV es la extensa *Planificación Espacial Estratégica* realizada durante décadas en los Países Bajos con la intención en particular de *dar al río un camino* ("Room for the River Programme"). Este programa se enfocó en importantes intervenciones en el paisaje como la construcción de humedales, células (áreas) de bioretención, pantanos vegetativos ("vegetative swales") y mejoras en ríos y canales. Las intervenciones fueron complementadas por otras iniciativas como la compra de tierras (por ejemplo, en zonas inundables) y subsidios a los habitantes afectados para que implementaran varios esquemas sostenibles disponibles dentro del programa [12] [13].

Ejemplos genéricos de los Países Bajos en relación con varios componentes de IAV se muestran en la Figura 2 [14]. La ilustración 1(a) muestra un reservoir largo y llano que permite en forma flexible el embalse de agua en distintos niveles y su movimiento de un nivel a otro cuando el nivel en cuestión se rebasa. Este componente del IAV puede también utilizarse para manejar ecológicamente una extensión grande natural a lo largo de un curso de agua (río o arroyo) de forma tal que puedan lograrse mejoras en la calidad del agua. Una extensión apropiada del área natural tiene la capacidad de absorber más de las cargas de nutrientes y sedimentos que el propio cauce del río, el que puede ser desbordado cuando haya precipitaciones altas y otros eventos extremos del tiempo. La ilustración 1(b) muestra un reservoir largo combinado con sombras creadas por vegetación existente a lo largo de las riberas del curso de agua. Sombras ayudan a mantener la temperatura del agua a niveles bajos y sostener así niveles de oxígeno disuelto que permitan la supervivencia de organismos favorables para la salud del curso. Cambios dinámicos beneficiosos pueden obtenerse al plantar árboles adaptados a subsistir en cursos de agua que (i) proyecten sombras, (ii) sirvan para estabilizar las riberas del curso y disminuyan la erosión y arrastre de los suelos y (iii) creen una barrera para la absorción (infiltración) de nutrientes impidiendo que alcancen el curso. La Ilustración 1(c) muestra la combinación de un reservoir llano con humedales y plantas que formen "corredores de biodiversidad" (o corredores verdes) creando así ambientes adecuados para atraer pájaros y otros animales y posibilitar su movilidad. La Ilustración 1(d) muestra la combinación de vegetación con zonas de recreación a lo largo del curso de agua. Árboles apropiados para estos esquemas incluyen el reed, que también puede utilizarse para producir biocombustibles [15], eucaliptus de agua, sauces, maples rojos, cipreses calvos y sicamores. La excelente publicación del World Bank, *"A Catalogue of Nature-based Solutions for Urban Resilience"* [16], Figura 1.1. p. 1, muestra múltiples componentes de IAV a nivel urbano.

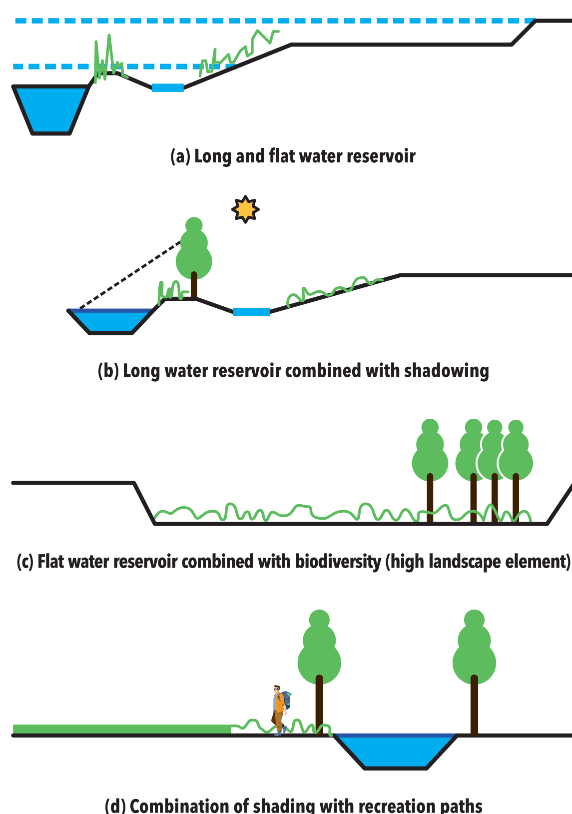


Fig. 2 - Ejemplos genéricos de IAV en los Países Bajos. Fuente: Snepvangers et al. [14].

SBN e IAV pueden planificarse y construirse en diferentes escalas espaciales (territoriales) La Figura 3 muestra tres escalas espaciales: a *nivel regional*, la escala de cuenca fluvial, a *nivel urbano*, la escala de ciudad, y a *nivel local*, la escala barrial. Por ejemplo, la recuperación de bosques y la restauración de planicies de inundación pueden ayudar a manejar los riesgos de inundación en la escala de cuenca fluvial, mientras que las áreas de bioretención y los



Te contamos qué hacemos en la **Asociación de Ingenieros del Uruguay**



Descargá la APP
Estamos a un click de distancia







VISITAS A **EMPRESAS** PARA CONOCER TU **FUTURO LABORAL**

TENEMOS UNA **LISTA ACTUALIZADA DE EMPLEOS** PARA TU DESARROLLO PROFESIONAL, Y ADEMÁS CONTAMOS CON **PASANTÍAS**



Sumate a la **comunidad AIU**

@aingenierosu



TENEMOS DESCUENTOS CON

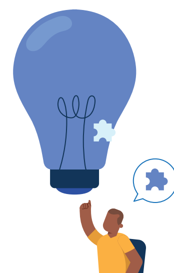


- **ANTEL**
- **BERLITZ**
- **DIGITAL OUTLET**





LA **COMISIÓN DE JÓVENES** TE ESPERA PARA QUE **SUMES TUS IDEAS**



Contacto **098 998 816**

volúmenes de detención se pueden planificar a nivel de barrio. En la escala de ciudad, la renaturalización de los arroyos y líneas de drenaje existentes ralentiza los flujos de agua, mientras que el aumento de los espacios verdes abiertos en toda la ciudad puede mejorar la infiltración [4].



Fig. 3 - Tipos de SBN a nivel de cuenca, ciudad y barrio. Fuente: Ministerio de Ambiente et al. [6], Figura 3-3; adaptado de la publicación del World Bank [16], Figuras 2-4, 2-5 y 2-6, pp.23-25.

3. Casos de estudio de infraestructura azul-verde

Desde nuestras publicaciones iniciales, clarificando conceptos y definiciones y realizando aplicaciones prácticas de la IAV [10] [11], cientos de artículos y ejemplos de diversos países se han publicado internacionalmente y el análisis de sus contribuciones se ha extendido a la resiliencia social, ver por ejemplo [17] [18]. Los proyectos más interesantes para Uruguay son a nivel regional y de cuencas. Es en este nivel territorial la IAV se transforma en un Proyecto Estratégico para alcanzar el desarrollo sostenible y los 17 Objetivos del Desarrollo Sostenible – ODS ("Sustentable Development Goals") formulados por las Naciones Unidas. En consecuencia, los casos de estudio que siguen se enfocan en el nivel regional.

3.1. IAV en Europa: Región de Conservación Natural, Parque Nacional De Biesbosch

En el sudeste de Rotterdam, el *Biesbosh* forma el estuario de dos de los ríos europeos más importantes el Meuse y el Rhine. Los ríos fluyen al mar a través de la mayor región de conservación natural de agua dulce mareal ("freshwater tidal") en Europa, el Parque Nacional de Biesbosh. Por su ubicación la región es afectada por las mareas provocando variaciones en los niveles de los ríos. Durante la marea alta, el mar impide el flujo libre de los ríos y el nivel del agua es el más alto. Durante la marea baja, los ríos fluyen libremente al mar por lo que el nivel del agua es el menor. La diferencia entre los puntos altos y bajos era de 2 metros hasta que se construyeron obras de control ("Delta Works") en 1970; la diferencia es ahora en promedio entre 20 cm y 70 cm. Luego de una sucesión de grandes descargas de sedimentos y nutrientes de los ríos en 1993 y 1995, el gobierno formuló una estrategia que reconectó los principales ríos con los arroyos Biesbosh y retornó una gran área reclamada de actividades agrícolas a su estado natural. Como resultado, además de crear extensos hábitats para flora y fauna y zonas de recreación, el parque también funciona como un importante búfer que disminuye el riesgo de crecidas de los ríos, previniendo así posibles roturas de los diques en la costa y las resultantes inundaciones de las poblaciones del delta Rhein-Meuse-Scheldt [10] [12]. Figuras 4a y 4b.

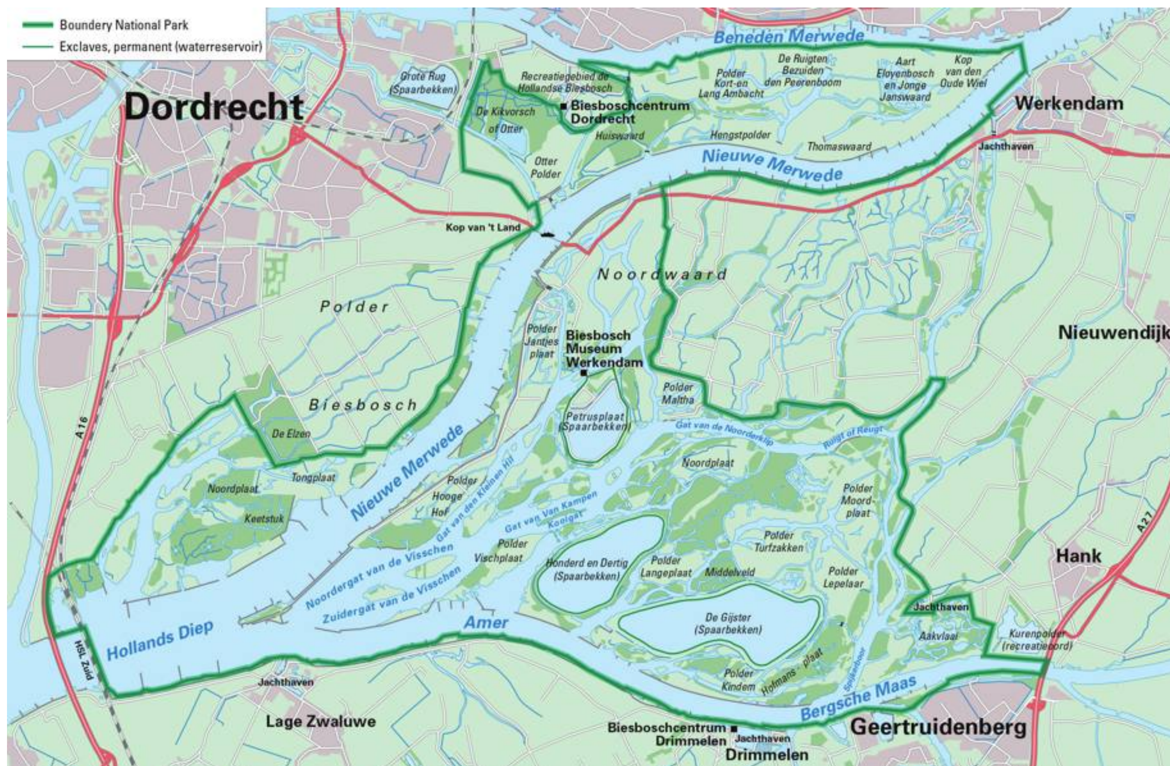


Fig. 4a - Estrategia del Parque Nacional de Biesbosch.
Fuente: [12] e informacion online sobre el parque.



Fig. 4b - Vista aérea, Paises Bajos. Fuente: [12] e informacion online sobre el parque.

3.2. IAV en Australia: Región de South Gippsland, Estado de Victoria

Varios estudios interesantes sobre IAV fueron efectuados por Gohfrani et al. en la región de South Gippsland, Estado de Victoria, Australia. Breve referencia se hace aquí a dos estudios.

Modelaje del efecto de IAV en el flujo de precipitaciones en la Cuenca del Río Tarwin [19]

Esta cuenca, con una superficie de unos 1500 km^2, desemboca en la costa del Bass Strait. La misma contiene extensas áreas dedicadas a la agricultura y varios pequeños asentamientos (villas). En las últimas tres décadas la cuenca sufrió frecuentes lluvias torrenciales que provocaron inundaciones con serios daños a las estructuras, viviendas, flora, fauna y medio ambiente, incluyendo erosión y transporte de suelos. El transporte de pesticidas usados en la agropecuaria también causó en forma regular floraciones de algas ("algal blooms") en lagos y ríos, similares a las experimentadas en Uruguay. Las pérdidas por estos impactos son millonarias. La implementación de soluciones tradicionales "grises" no han sido suficientemente efectivas.

Utilizando el programa de computación PCSWMM para la simulación hidrológica de la cuenca, en particular el modelo de manejo de tormentas ("Storm Water-magement Model" - SWMM), los siguientes cuatro componentes de IAV fueron modelados en varios escenarios (combinación de dos, tres o todos los componentes) y sus costos estimados. Estos modelos son reconocidos internacionalmente y muy empleados en proyectos similares [20] [21].

(i) *Célula (área) de biorretención* ("biorretention cell" - BC) es una depresión en el paisaje que incluye vegetación creciendo en un suelo especialmente preparado con esos propósitos y que está ubicado encima de un lecho de gravilla. Este componente de la IAV proporciona reserva e infiltración tanto de la lluvia como del flujo ("runoff") de aguas de zonas adyacentes.

(ii) *Tanque de agua* ("water tank" - WT) es utilizado, con dimensiones apropiadas, para el almacenaje de agua de lluvia que luego puede ser distribuida para varios usos.

(iii) *Pantano vegetativo* ("vegetative swale" - VS) es un área excavada o un canal, con bordes inclinados que están cubiertos de herbaje u otro tipo de vegetación. Este componente de la IAV retarda el flujo de aguas dándoles más tiempo para el derrame e infiltración en el suelo.

(iv) *Zanja de infiltración* ("infiltration trench" - IT) es un estrecho canal rellenado con piedras y gravilla que captura las aguas de escorrentías permitiendo una infiltración lenta.

El modelaje hidrológico reveló que el escenario WT + BC + VS + IT es la solución más efectiva con un solo sitio en la cuenca del Río Tarwin inundado, seguido de WT + IT + VS y WT + IT + BC con dos sitios inundados. Este estudio demuestra que con un costo relativamente bajo las inundaciones provocadas por intensas lluvias pueden ser controladas por la IAV impidiendo así pérdidas millonarias.

Diseño de una laguna y evaluación del efecto en la calidad de agua [22]

En este estudio fue diseñada una laguna también en la cuenca del Río Tarwin en forma análoga y con función similar a un humedal natural ("wetland") para evaluar su efecto tanto en la calidad del agua como en la disminución del flujo ("runoff") del agua durante eventos extremos del tiempo. Humedales son ecosistemas complejos que proveen múltiples funciones ecológicas, biológicas e hidrológicas. Los humedales mejoran la calidad de las aguas superficiales y subterráneas actuando como filtros que remueven sedimentos y nutrientes. En el modelaje hidrológico se utilizó el PCSWMM. En el análisis de los efectos de la laguna en la calidad del agua se empleó el programa MUSIC ("Model for Urban Stormwater Improvement Conceptualisation") que permite diseñar la remoción de polución en las aguas por medio de humedales, lagunas y células de biorretención. MUSIC emplea una simulación continua basada en precipitación histórica y evapotranspiración, así como otros parámetros climáticos en distintos tiempos desde 6 minutos hasta 24 horas. [21] Los resultados indican que la laguna construida hubiera reducido el caudal del flujo en un 94%, obtenido una reducción del 88.3%, 75.5% y 50.7% de la suspensión total de sólidos (TS), total fósforos (TF), y total nitrógeno (TN) respectivamente, durante un evento extremo del tiempo histórico.

3.3. IAV en Uruguay: Cuenca del Río Santa Lucía

La concentración de población en el área metropolitana de Montevideo y en la zona costera del Este crean problemas significativos en dos de las principales cuencas del país: la Cuenca del Río Santa Lucía y la Cuenca de la Laguna del Sauce. La primera, que abastece de agua potable al 60% de la población del Uruguay, es crucial para la producción agropecuaria y la conservación de la biodiversidad. La segunda es de especial importancia en el abastecimiento de agua potable a Maldonado, Punta del Este y alrededores, región con una población en el verano superior a las 500.000 personas. Las dos cuencas sufren severos impactos por las actividades agropecuarias vía fuentes difusas con cargas altas de nutrientes y pesticidas. El herbicida glifosato es el pesticida más utilizado en Uruguay desde la introducción de cultivos genéticamente modificados con tolerancia al mismo. La eliminación de contaminantes en los recursos hídricos puede realizarse por medios físicos, químicos o biológicos, siendo este último de especial interés debido a su bajo costo y reducido efecto adverso sobre el medio ambiente.

IAV y control del glifosato en una subcuenca del Río Santa Lucía

Nervi en su tesis de Máster de Ciencias en Desarrollo Regional Sostenible en Deakin University [23], analizó la utilización de IAV para confinar los flujos de aguas de escorrentías y el uso de microorganismos como agentes de remediación de pesticidas (biorremediación), presentes en las aguas, inmovilizándolos en matrices inertes que permiten su posterior remoción. La región del estudio ocupa aproximadamente 1700 km^2 e incluye la represa de Paso Severino con un embalse de 70 millones de m^3 asociado con la planta de potabilización de Aguas Corrientes ubicada aguas abajo.

Concretamente Nervi empleó el modelo SWAT ("Soil Water Assessment Tool") diseñado por USDA [24] que simula procesos hidrológicos, prácticas del uso del suelo y calidad del agua en cuencas para informar estrategias de biorremediación del glifosato presente en las aguas de escorrentía. Consideró además un



diseño integrado de un componente de la IAV, el pantanoso vegetativo ("vegetative swale"), para confinar y almacenar las aguas de escorrentía y permitir el tratamiento del glifosato para poder reciclar las aguas. En forma similar al estudio de Ghofrani [19], Nervi utilizó el programa PCSWMM, particularmente el modelo SWMM, aplicando sistemas de desarrollo de bajo impacto, sigla en inglés LID ("Low Impact Development"). Resultados de la simulación incluyen la detección de puntos de exportación del glifosato en la subcuenca, particularmente en la zona media-baja donde el glifosato fue exportado en mayores cantidades. Esos sitios serían los más adecuados para implementar un sistema de biorremediación. En un análisis complementario, Nervi [24] extendió la aplicación y calibración del SWAT. Estos resultados sirven de base para la formulación de una estratégica IAV-glifosato biorremediación.

Otros investigadores uruguayos han estudiado distintos esquemas del tratamiento de aguas en la Cuenca del Río Santa Lucía, por ejemplo, Gorgoglione et al. [26], y en la Cuenca de la Laguna del Sauce, por ejemplo, Barrufa [27], sin embargo, ellos no consideraron la aplicación de la IAV.

4. Conclusión - importancia de infraestructura azul-verde

Infraestructura Azul-Verde (IAV) es una de las iniciativas más importantes e innovadoras, con aplicación en varias ramas de Ingeniería, para enfrentar los desafíos presentados por los cambios de clima y eventos extremos del tiempo que afectan la resiliencia de la Tierra. Responder en forma efectiva y eficiente a la sucesión de lluvias torrenciales seguidas de prolongados periodos de sequías y altas temperaturas, que hoy en día son la norma, requiere la pronta toma de decisiones, y sus implementaciones, basadas en excelente información científica y profesional. La Planificación Espacial (Territorial) Estratégica aplicada al desarrollo de proyectos de IAV en áreas críticas de Uruguay es entonces impostergable.

Como los ejemplos presentados en este artículo demuestran, IAV engloba varios componentes y esquemas y puede ser implementada utilizando un componente o combinaciones apropiadas de varios de ellos. Dado que los contextos y sus desafíos son múltiples, los modelos de simulación desempeñan un rol fundamental en facilitar la comunicación entre la ciencia y la formulación de políticas y acciones concretas por los responsables de las tomas de decisiones. Los modelos integrados del comportamiento dinámico de cuencas son muy útiles para analizar escenarios y posibles soluciones asociadas con los mismos y pueden emplearse también como integradores de conocimientos e información.

La escala y sinergia de los problemas ambientales confrontado los sistemas urbano-regionales, sus comunidades humanas y los ecosistemas naturales son de tal magnitud que sólo intervenciones lógicamente planificadas —que son éticas, toman en cuenta distintos puntos de vista, y son sensitivas a la ecología de la cual todos somos parte— ofrecen soluciones para abordarlos exitosamente.

5. Referencias bibliográficas

[1] Ministerio de Ambiente, SNRCC. 2021. Estrategia Climática a Largo Plazo de Uruguay - Para un desarrollo bajo en emisiones de gases de invernadero y resiliente al clima. MdA, online.

[2] Ministerio de Ambiente, SNRCC Uruguay. 2021. Uruguay – Cuarto Informe Bienal de Actualización a la Conferencia de las Partes en la Convención del Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. BURA 2021 / MdA, online.

[3] IPCC .2023. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, and III to the Sixth Assessments Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva. Online: doi.10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001

[4] World Bank. 2024. Climate Change Knowledge Portal for Development Practitioners and Policy Makers. Online.

[5] M. Barreiro, F. Arizmendi, N. Diaz, R. Trinchin. 2021. Análisis del clima y escenarios de cambio y variabilidad climática en Uruguay. Facultad de Ciencias. Online.

[6] Ministerio de Ambiente, Oficina de Planeamiento y Presupuesto, et al. 2023. Plan Nacional de Aguas Pluviales Urbanas para Uruguay. Ministerio de Ambiente. MdA, online.

[7] E. Cohen-Shacham, G. Walters, G. Janzen, S. Maginnis (Eds.). 2016. Nature-based Solutions to address global societal challenges. International Union for the Conservation of Nature and

Natural Resources – IUCN, Switzerland. https://portals.iucn. org/library/sites/library/files/documents/2016-036.pdf

[8] UNEP (United Nations Environment Programme). 2022. Resolution Adopted by the United Nations Environment Assembly on 2 March 2022. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/39864/ NATURE-BASED%20SOLUTIONS%20FOR%20 SUPPORTING%20SUSTAINABLE%20DEVELOPMENT.%20English. pdf?sequence=1&isAllowed=y%C3%A7

[9] Ministerio de Ambiente. 2024. Lanzamiento de un proyecto para la Cuenca del Santa Lucia. Comunicación del Ministerio de Ambiente 13/05/2024. MdA, online.

[10] V. Sposito, R. Faggian, V. Diogo, H. Romeijn. 2014. Blue-Green Infrastructure for Creating Resilient Regions to Climate Change – A Case Study in the Gippsland Region, Victoria, Australia. The University of Melbourne, Deakin University, SPINLab Department of Economics - Vrije Universiteit Amsterdam.

[11] Z. Ghofrani, V. Sposito, R. Faggian. 2017. "A Comprehensive Review of Blue-Green Infrastructure Concepts". International Journal of Environment and Sustainability. 2017; 27:6(1): 15-36 https://goo.gl/GzS3BX

[12] E. Koomen, H. de Moel, E.G. Steingröver, S.A.M. van Rooij, M. van Eupen. 2012. Land Use and Climate Change. Technical Report, National Research Program Climate Changes Spatial Planning. Online: https://goo.gl/AkLs1B

[13] Rijkswaterstaat - Dutch Ministry of Infrastructure and Water Management. https://www.un-ihe.org/sites/default/files/13270-rvdr-brochuregovernance-engels_def-pdf-a.pdf; https://www.dutchwatersector.com/news/room-for-the-riverpr

[14] L. Snepvangers A. Kamerling-Baake, S.A.M. Rooij, E.G. Steingröver. 2011. "Plannen met multifunctionele groenblauwe netwerken in Salland", Technical Report, Ecologische Netwerken.

[15] V. Diogo, E. Koomen, F. van der Hilst. 2012. Second generation biofuel production in the Netherlands: a spatially-explicit exploration of the economic viability of a perennial biofuel crop. SPINlab Research. Vrije Universiteit Amsterdam, Amsterdam.

[16] World Bank. 2021. A Catalogue of Nature-based Solutions for Urban Resilience. Online.

[17] P. Herath, X. Bai. 2024." Benefits and co-benefits of urban green infrastructure for sustainable cities: six current and emerging themes". Sustainability Science https//doi.org/10.1007/s11625-024-01475-9

[18] A. Campbell, V. Chanse, M. Schindler. 2024. "Developing a Conceptual Framework for Characterizing and Measuring Social Resilience in Blue-Green Infrastructure (BGI}", Prepints.org, doi: 10.20994/preprints202403.0715.v2

[19] Z. Ghofrani, V. Sposito, R. Faggian. 2019a. "Modelling the impacts of blue-green infrastructure on rainfall runoff". International Journal of Water, 13(2): 151-172.

[20] L.A. Rossman, W.A. Huber. 2016. Storm Water Management Model Reference Manual. Volume I - Hydrology (Revised). Washington, DC, US: US Environmental Protection Agency; 2016. https://nepis.epa.gov/ Exe/ZyPDF.cgi?-Dockey=P100NYRA.txt

[21] T.H. Wong, T.D. Fletcher, H.P Duncan, J.R. Coleman, G.A. Jenkins. 2012. A model for urban stormwater improvement: Conceptualization. In: Global Solutions for Urban Drainage 2012 (pp. 1-14). DOI: 10.1061/40644(2002)115.

{22] Z. Ghofrani, V. Sposito, R. Faggiain. 2019b. "Designing a Pond and Evaluating its Impact upon Storm-water Quality and Flow: A Case Study in Rural Australia". Ecological Chemistry and Engineering S, 2019, 26(3): 475-491. DOI:10.1515/eces-2019-0036.

[23] E. Nervi. 2019. Merging Blue Green Infrastructure and biotechnology: The case of glyphosate in Santa Lucia's sub-basin. Master of Science (Research) in Sustainable Regional Development. Deakin University, Australia; Universidad ORT Uruguay, Uruguay.

[24] J.G. Arnold, D.N. Moriasi, P.W. Gassman, K.C. Abbaspour, M.J. White, R. Srinivasan, C. Santhi, R.D. Harmel, A, van Griensven, M.W. Van Liew, N. Kannan, M.K. Jha. 2012. SWAT: model use, calibration, and validation. Trans ASABE. 2012, 55(4):1491-508.

[25] E. Nervi, A. Gorgolione, R. Willem Vervoort, V. Sposito, R. Faggian. 2019. Aplicación del modelo SWAT en estudios de la presencia de glifosato en escorrentías rurales en una subcuenca del rio Santa Lucia. II Congreso de Agua Ambiente y Energía, AUGM, Montevideo.



[26] A. Gorgoglione, J. Alonso, C. Chreties, M. Fossati. 2020. "Assessing temporal and spatial patterns of surface-water quality with a multivariate approach: a case study in Uruguay". The sixth International Conference on Water and Environment. Earth and Environmental Sciences 612 (2020) 012002. doi.10.1088/1755-1315/612/1.012002.

[27] A. Silvarrey. 2021. Climate Change Effects on Eutrophication: Approaches to support environmental decision-making. Doctoral Thesis, Deakin University, Australia. Ver también: A. Silvarrey, R. Faggian, V. Sposito, M.D. Guigou. 2021. "Using models to inform water policy in a changing climate: comparing the Australian and Uruguayan experiences". Marine and Freshwater Research, 2021, 72: 275–287. https://doi.org/10.1071/MF19266

Fotos:

Pág. 70 · Dimitry Ljasuk · Unsplash

Pág. 75 · Vickry Alvian · Unsplash

· Z (@hapticzaptic) · Unsplash

· Chander Mohan · Unsplash

Pág. 77 · Biesboschmuseum

Pág. 79 · Rachel C · Unsplash

Pág. 82 · James Loesch · Flickr


AIU
1905